

Resum

En aquest projecte s'estudia la implantació del procediment d'homologació de sistemes de control d'estabilitat (ESC) per a vehicles industrials segons la Reglamentació UNECE 13-11 en un servei tècnic. D'altra banda es presenta el disseny d'uns sistemes de seguretat anomenats outriggers, indispensables per a la realització dels assajos que es requereixen de forma segura.

Al llarg del document s'explica què és homologar, quins són els agents que intervenen en el procés d'homologació d'un vehicle i com es regulen les normatives que regeixen l'homologació.

Un cop presentat el procés global d'homologació s'aprofundeix en l'homologació de l'ESC dels vehicles industrials: quina ha estat la motivació per exigir l'obligatorietat d'aquest sistema als vehicles actuals i quins requisits cal complir per a obtenir-ne l'homologació de tipus per part d'un servei tècnic.

Aquests requisits es basen en els resultats de l'execució de diferents maniobres que comprometen l'estabilitat del vehicle, caracteritzant-ne detalladament cada una d'elles i presentant-ne les instruccions de treball i requisits que cal tenir en compte per a poder dur-les a terme.

Finalment es mostra el disseny d'uns outriggers creats per a garantir la seguretat dels conductors a l'hora d'assajar l'ESC de vehicles de la categoria N₃ amb una massa de fins a 25000 kg.

El conjunt dissenyat, apart de resistir les sol·licitacions a les quals està sotmès permet ser utilitzat a diferents vehicles gràcies a la seva adaptabilitat.

Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
1. GLOSSARI	5
2. INTRODUCCIÓ	7
2.1. Objectius del projecte	7
2.2. Metodologia de treball	7
2.3. Abast del projecte	8
3. ESTAT DE L'ART	9
3.1. Descripció de les normatives generals referents a l'homologació	9
3.1.1. L'homologació	9
3.1.2. Legislacions referents a l'homologació de vehicles	9
3.1.3. Creació de Reglaments UNECE	13
3.1.4. Organismes responsables de l'homologació	15
3.1.5. Procés i requisits per a l'homologació d'un vehicle	17
3.2. Normatives referents al control d'estabilitat de vehicles industrials	18
3.2.1. El sistema de control d'estabilitat	19
3.2.2. Evolució històrica de les normatives	20
3.2.3. Tendència futura	24
3.2.4. Estudi i justificació de l'aplicació de les normatives referents al control d'estabilitat de vehicles	25
3.3. Procediments d'assaig d'ESC per a l'homologació de tipus	28
3.3.1. Descripció dels assajos	29
3.4. Dispositius de seguretat necessaris per a la realització dels assajos	42
4. DISSENY D'OUTRIGGERS PER ALS ASSAJOS DE SISTEMES DE CONTROL D'ESTABILITAT	45
4.1. Condicions de disseny	45
4.2. Disseny proposat	46
4.2.1. Disseny del conjunt	46
4.2.2. Punts d'ancoratge mòbils	47
4.2.3. Braços	49
4.2.4. Rodes	50
5. SIMULACIÓ I VALIDACIÓ DEL DISSENY	53
5.1.1. Metodologia	53

5.1.2.	Característiques de la simulació	53
5.1.3.	Resultats de la simulació	54
5.2.	Validació del disseny	56
6.	ANÀLISI ECONÒMICA	59
6.1.	Cost aproximat dels outriggers	59
6.2.	Cost de creació del projecte	59
6.2.1.	Consideracions prèvies.....	59
6.2.2.	Cost de formació.....	60
6.2.3.	Cost del material d'oficina	61
6.2.4.	Cost de creació del projecte.....	61
6.2.5.	Cost de les tutories	62
6.2.6.	Cost total.....	62
7.	ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL	63
	CONCLUSIONS	65
	AGRAÏMENTS	67
	BIBLIOGRAFIA	69
	Referències bibliogràfiques	69
	Bibliografia complementària	71

1. Glossari

ABS: Anti-lock Brake System.

COP: Conformitat de la producció.

EBS: Electronic Brake System.

ESC: Electronic Stability Control.

MMA: Massa Màxima Autoritzada.

M: Categoria de vehicles de motor amb un mínim de 4 rodes dissenyats i fabricats per al transport de passatgers: cotxes i autobusos. Es consideren les subcategories següents:

- M₁: No més de 9 seients
- M₂: Més de 9 seients i $MMA \leq 5000 \text{ kg}$
- M₃: Més de 9 seients i $MMA > 5000 \text{ kg}$

N: Categoria de vehicles de motor amb un mínim de 4 rodes dissenyats i fabricats per al transport de mercaderies: furgonetes i camions. Es consideren les subcategories següents:

- N₁: Transport de mercaderies i $MMA \leq 3500 \text{ kg}$
- N₂: Transport de mercaderies i $3500 \text{ kg} < MMA \leq 12000 \text{ kg}$
- N₃: Transport de mercaderies i $MMA > 12000 \text{ kg}$

O: Categoria pròpia dels remolcs (incloent semi-remolcs). Es consideren les subcategories següents:

- O₁: Remolcs amb una massa màxima $\leq 750 \text{ kg}$
- O₂: Remolcs amb $750 \text{ kg} < \text{massa màxima} \leq 3500 \text{ kg}$
- O₃: Remolcs amb $3500 \text{ kg} < \text{massa màxima} \leq 10000 \text{ kg}$
- O₄: Remolcs amb una massa màxima $> 10000 \text{ kg}$

SUV: Sport Utility Vehicle.

UTI: Unitat tècnica independent.

VSF: Vehicle Stability Function. Nom alternatiu que rep l'ESC.

2. Introducció

2.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal d'aquest projecte és definir els procediments d'assaig per tal que un servei tècnic pugui homologar els vehicles industrials que incorporen sistemes de control d'estabilitat i dissenyar uns *outriggers* per tal de poder dur a terme aquests assajos amb seguretat.

A tal efecte, el projecte es divideix bàsicament en tres blocs:

- Elaboració de les instruccions de treball per a dur a terme els assajos de control direccional i control de bolcada.
- Disseny, anàlisi i validació d'*outriggers* per als assajos dels sistemes de control d'estabilitat.

2.2. Metodologia de treball

A l'hora de dur a terme aquest projecte s'ha realitzat primerament un estudi de l'homologació, presentant aquelles institucions que regulen les diferents normatives, mostrant el procés d'adopció dels reglaments i definint quin és el procediment que ha de seguir un vehicle per tal de ser homologat. Un cop fet això, s'ha centrat l'estudi en aquelles normatives referents als sistemes de control d'estabilitat (ESC) dels vehicles, explicant-ne les motivacions per crear-les.

Seguidament, s'ha analitzat amb profunditat aquelles maniobres necessàries per tal d'homologar un vehicle pel que fa al seu ESC i s'ha elaborat el pla d'assaig per a cada una d'elles.

El següent pas ha estat la creació d'un disseny d'outriggers (un element de seguretat per a fer els assajos) tenint en compte les sol·licitacions a les que queden sotmesos durant la realització de les maniobres. Aquest disseny ha passat per varies fases, optimitzant-ne els diferents elements per a ser el més funcionals possibles i lleugers.

Finalment, s'ha fet un estudi de l'impacte ambiental i del cost econòmic del projecte.

A continuació, en la Figura 2.1 es presenta un diagrama resum de la metodologia de treball que s'ha seguit durant la creació d'aquest projecte.

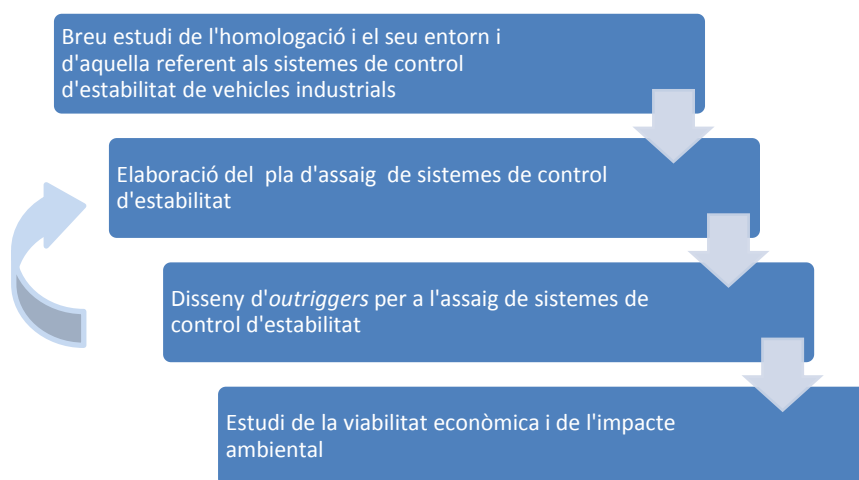


Figura 2.1. Metodologia de treball

2.3. Abast del projecte

El projecte presentat defineix els procediments d'assaig per tal de poder homologar els vehicles industrials de la categoria N₃ rígids que incorporen sistemes de control d'estabilitat i dissenyar uns *outriggers* per tal de poder dur a terme aquests assajos amb seguretat. Queda fora de l'abast del projecte la realització d'assajos amb els equips dissenyats.

3. Estat de l'art

En aquest apartat es descriu l'estat actual de les normatives vigents sobre el vehicle industrial, els sistemes de control d'estabilitat així com els procediments d'assaig per a la homologació de tipus pel que fa referència al control d'estabilitat.

3.1. Descripció de les normatives generals referents a l'homologació

Abans d'entrar a descriure la normativa referent al tema del que tracta aquest projecte cal entendre com funciona el procediment de l'homologació. És per aquest motiu que tot seguit es presenta una breu explicació sobre el perquè de l'homologació, quins tipus de normativa existeixen, com es creen i com s'atorguen.

3.1.1. L'homologació

Segons la seva definició, homologació és l'aprovació oficial d'un producte, procés o servei realitzada per un organisme que té aquesta facultat per disposició d'un document legislatiu. Aquesta definició generalista es pot matissar si s'aplica a l'àmbit de l'automòbil. Així doncs, s'entén per homologar com el procediment legal mitjançant el qual l'organisme competent de l'administració verifica en un vehicle, en un sistema, en una UTI o en un component d'un vehicle el compliment de la normativa vigent obligatòria (Reglaments Tècnics) i emet el certificat que permet la seva comercialització i matriculació.

Per tant, com a resum, es pot dir que els vehicles s'homologuen per a poder ser matriculats i així poder circular per la via pública.

3.1.2. Legislacions referents a l'homologació de vehicles

En allò referent a l'homologació de vehicles, hi ha diferents tipus de reglamentació (Reglaments UNECE, Directives i Reglaments EU). En aquest apartat es descriuen cada un d'ells i s'expliquen les seves diferències.

3.1.2.1. Reglaments CEPE o UNECE

Amb origen en l'acord de Ginebra de l'any 1958, reben el nom de reglaments CEPE (Comissió Econòmica Per Europa) o bé, en anglès UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) i tenen les característiques següents:

- Opcionals per les parts contraents.
- Sistema d'homologació i COP.
- Requereixen la introducció de marcatges de la producció.
- Requereixen la introducció de marcatges d'homologació.
- Per a sistemes i components.
- Cobreixen turismes, autobusos, camions, tràilers, motocicletes i tractors agrícoles.

Avui en dia, la UNECE consta de 56 Estats Membre (tots ells són estats que han adoptat l'acord de Ginebra del 58). Tot i això, qualssevol membres de les Nacions Unides poden participar a les activitats de la Comissió Econòmica per Europa i per tant, emprar el seus Reglaments.

Actualment existeixen 128 Reglaments ECE en vigor i n'hi ha d'altres pendents de validació que segueixen el seu curs legal per a la seva adopció en breu.

3.1.2.2. Directives EU

A l'any 1957, un any abans de l'acord de Ginebra, naixia la Comunitat Econòmica Europea (ECE). Un dels seus objectius inicials va ser l'harmonització de les legislacions sobre la construcció i ús dels vehicles i les seves parts i peces, amb la missió de facilitar l'acceptació recíproca dels vehicles i components fabricats als diferents Estats Membre. Totes les normatives que es van desenvolupar aleshores van crear-se com a Directiva de la ECE, tot i que després es van anomenar Directives EC (Comissió Europea) fins que finalment van adoptar les sigles EU (Unió Europea).

Les Directives EU són disposicions normatives de dret comunitari que vinculen als Estats Membre de la Unió Europea pel que fa a l'assoliment de resultats amb el fi d'aconseguir uns objectius concrets en un termini determinat, com per exemple, la reducció de víctimes mortals en accidents i la reducció de la contaminació dels vehicles entre d'altres. Per tal d'assolir els objectius dictats per aquestes directives, les Autoritats Competents de cada Estat Membre tenen la llibertat d'escollir la forma i els mitjans a aplicar per a tal fi.

Els estats que tenen com a obligació el compliment de les Directives EU són aquells que formen part de la Unió Europea:

Estats Membre de la Unió Europea		
Alemanya	Estònia	Luxemburg
Àustria	Finlàndia	Malta
Bèlgica	França	Països Baixos
Bulgària	Grècia	Polònia
Croàcia ¹	Hongria	Portugal
Dinamarca	Irlanda	Regne Unit
Eslovàquia	Itàlia	Romania
Eslovènia	Letònia	Suècia
Espanya	Lituània	Xipre

Taula 3.1. Estats Membre de la Unió Europea

Les Directives EU són pràcticament idèntiques als Reglaments UNECE però estan ubicades en un marc legal diferent i són vàlides tan sols a la Unió Europea. Aquest fet és degut a un intent de protegir els països de la Unió, mitjançant barreres legals, davant la supressió de barreres comercials i aranzelàries en front a estats no membres.

Cal remarcar la diferència entre les Directives i els Reglaments:

- Les Directives EU són d'obligat compliment pels països membres de la EU a partir del 18è mes a partir de la seva publicació al DOUE (Diari Oficial de la Unió Europea) mitjançant transposició, és a dir, introduint la Directiva europea a la seva pròpia legislació.
- Els compromisos assumits al signar els Reglaments UNECE són d'obligat compliment per part dels països signataris del mateix a partir del 60è dia després de la seva publicació. És a dir, si un país no signa la reglamentació no cal que la compleixi.

¹Croàcia és Estat Membre de la UE des del dia 1 de Juliol de 2013

3.1.2.3. Reglaments EU

Per tal d'evitar conflictes d'interès entre les parts implicades en les diferents normatives (administracions, fabricants i serveis tècnics), la Comunitat Europea està treballant en la unificació, simplificació i estandardització dels diferents jocs de documents legislatius.

Després d'un informe elaborat pel grup d'alt nivell CARS 21, s'ha seguit la recomanació de derogar les Directives i substituir-les per Reglaments EU per tal de mantenir i ampliar el nivell de seguretat dels usuaris de la via.

Cal doncs transferir els requeriments de les Directives als Reglaments EU i s'han de substituir, quan sigui possible, per referències als Reglaments UNECE corresponents incorporats al dret comunitari [1]. Per a aquest motiu, a partir del 2014 les Directives comunitàries seran derogades i substituïdes pels Reglaments UNECE ja existents (que passaran de ser opcionals a ser d'obligat compliment pels països membres de la Unió Europea).

Tot i això, es dona el cas que hi ha certes Directives EU que no tenen Reglaments UNECE equivalents i, per tal de no deixar desatesos aquests aspectes, s'estan creant nous Reglaments EU que les substituiran.

Com a resum i per clarificar la situació actual i futura, es presenta la Taula 3.2:

Tipus de normativa	Previ a 2014	A partir de 2014
Directives EU	Obligatòries	Derogades
Reglaments EU	Opcionals (en creació)	Obligatoris
Reglaments UNECE	Opcionals	Obligatoris
Avantatges/desavantatges	Solapament constant entre Directives i Reglamentacions.	No hi ha solapament. Es creen Reglaments EU d'aquelles Directives EU que no tenen Reglament UNECE equivalent.

Taula 3.2. Resum sobre l'estat de les Directives i les Reglamentacions

Finalment, és interessant remarcar que, amb l'objectiu de no haver de sol·licitar una nova homologació l'any 2014 per tal de complir la normativa que entrarà en vigència, la majoria

dels fabricants de vehicles, sistemes i components estan demanant l'homologació via Reglament UNECE i EU en comptes de via Directiva EU.

3.1.3. Creació de Reglaments UNECE

Tenint en compte que, a partir de 2014 la normativa sobre l'homologació de vehicles es referirà als Reglaments UNECE, en aquest apartat s'explica breument com està estructurada l'organització, anomenada Working Party 29 (WP.29), encarregada de la creació i evolució d'aquest tipus de normativa, i quin és el procediment pel qual s'estableixen les Regulacions Tècniques de les Nacions Unides.

Des de la seva creació el 1947, la Comissió Econòmica Per Europa, una de les cinc comissions regionals de l'ONU, ha tingut com a objectius principals promoure la cooperació econòmica entre els Estats Membres actuant en el desenvolupament d'instruments d'anàlisi econòmica, incrementant l'eficiència en procediments relatius al medi ambient, l'energia sostenible, la indústria i el comerç i la integració de les xarxes de transport així com elaborant i harmonitzant convenis, reglaments, normes i estàndards. La Comissió disposa d'un grup d'experts *ad hoc* i set organismes subsidiaris principals, un dels quals és el Comitè de Transport Interior (ITC), creat l'any 1958.

L'ITC és l'òrgan polític de la UNECE per a la cooperació en l'àmbit del transport i s'encarrega de les infraestructures específiques, vehicles i procediments operacionals de tres tipus de transport: ferroviari, fluvial i rodat.

Dins l'ITC, es va fundar el Fòrum Mundial per a l'Harmonització de Reglaments sobre vehicles, anomenat Working Party 29. El WP.29 està assistit per sis grups de treball especialitzats -Senyalitzacions lluminoses (GRE); Frens, rodatge i xassís (GRRF); Seguretat passiva (GRSP); Contaminació i energia (GRPE); Soroll (GRB); Seguretat general (GRSG)- i la seva missió és iniciar i dur a terme accions dirigides a l'harmonització o elaboració de reglaments tècnics o esmenes d'aquests, promoure l'eficiència energètica i la protecció contra el robatori, proporcionant condicions uniformes per a les inspeccions tècniques periòdiques i enfortint les relacions econòmiques a nivell mundial, promovent el reconeixement recíproc de les homologacions i certificacions de les parts contractants dels acords [2].

A continuació es mostra la Figura 3.1. amb l'estructura dels grups de treball de l'ITC dins de l'UNECE:

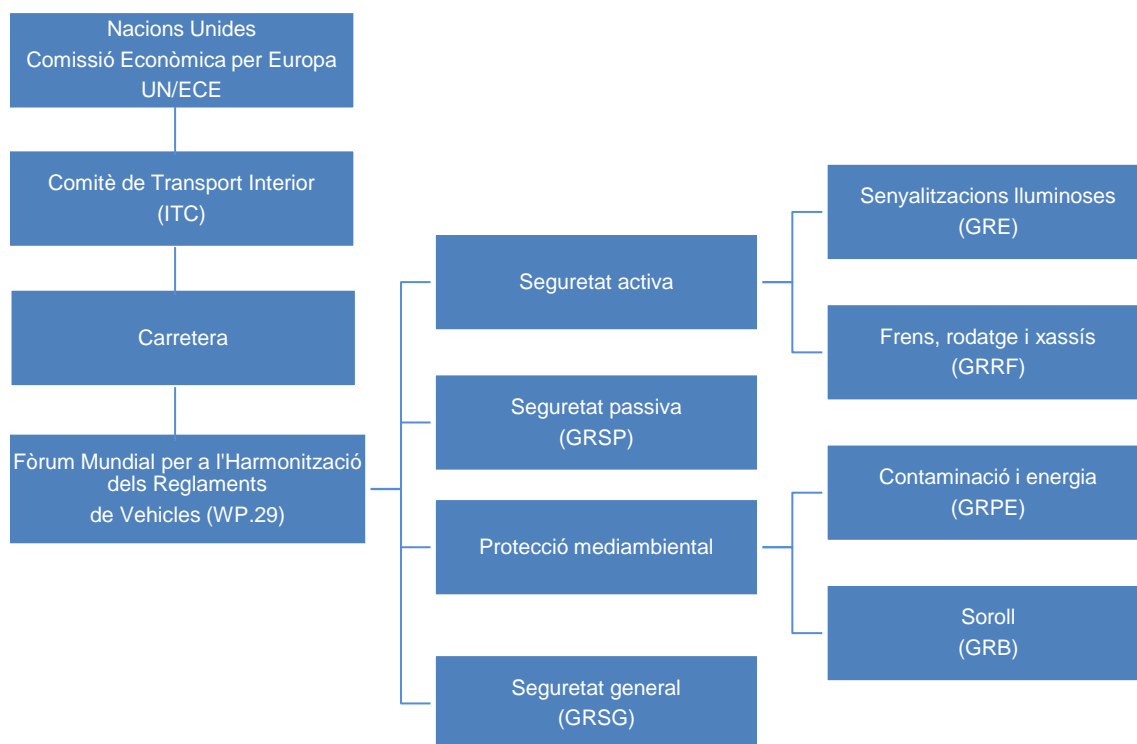


Figura 3.1. Representació dels grups de treball de l'ITC dins l'UN/ECE [2]

En la Figura 3.2 s'esquematitza el procés pel qual s'estableix una Regulació de la UNECE, ja sigui per al procés d'harmonització (#1) com per al procés de creació (#2):

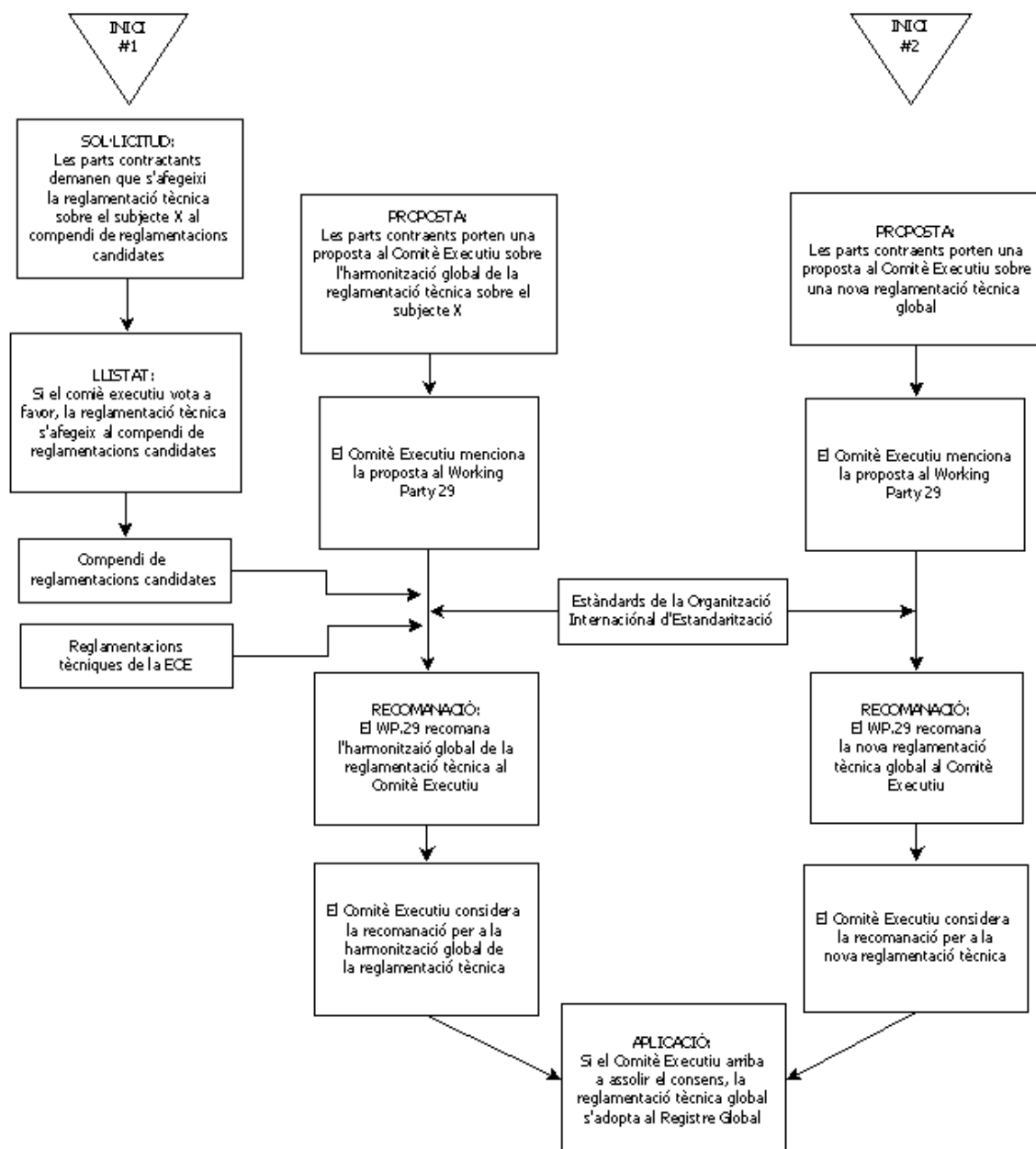


Figura 3.2. Representació del procés pel qual s'estableix una Regulació de l'UN/ECE [2]

3.1.4. Organismes responsables de l'homologació

Un cop definit el concepte de l'homologació i comentades aquelles normatives a les que es refereix, és necessari mencionar quins són els diferents organismes que atorguen l'homologació, ja sigui de tipus de vehicle, sistema, component o UTI.

Aquests organismes són les Autoritats Competents, els laboratoris (o serveis tècnics) i els fabricants.

3.1.4.1. Autoritats competent en matèria d'homologació

S'entén com a autoritat competent en matèria d'homologacions com l'autoritat d'un Estat membre amb competències en tots els aspectes de l'homologació d'un tipus de vehicle, sistema, component o UTI o de l'homologació individual d'un vehicle, del procés d'autorització, de l'emissió i, en el seu cas, retirada de certificats d'homologació, així com per a actuar com a punt de contacte amb les autoritats d'homologació de la resta d'Estats membres, per a designar els serveis tècnics i garantir que el fabricant compleix amb les seves obligacions sobre COP [3].

3.1.4.2. Laboratoris o serveis tècnics

Tot i que, com s'acaba de definir a l'apartat anterior, l'homologació la pot realitzar una institució oficial dependent del Ministeri (que n'és l'autoritat emissora), pot donar-se el cas que el Ministeri no disposi de cap entitat competent per comprovar que un vehicle, sistema, component o UTI compleix la normativa. Quan això succeeix, el Ministeri té la potestat d'atorgar les competències en l'homologació a un organisme privat o públic. Antigament, aquests organismes s'anomenaven laboratoris d'assaig, avui en dia s'ha canviat el seu nom pel de serveis tècnics.

Així doncs, es defineix com servei tècnic a l'organització o entitat designada per l'autoritat d'homologació d'un Estat membre com a laboratori per dur a terme assajos d'homologació o com a entitat d'avaluació de la conformitat per dur a terme la inspecció inicial i altres assajos o inspeccions en nom de l'autoritat d'homologació, sent possible que la pròpia autoritat d'homologació dugui a terme aquestes funcions [3].

3.1.4.3. Fabricants

El tercer organisme responsable de l'homologació són els fabricants dels vehicles, sistemes, components o unitats tècniques independents. A diferència d'alguns països com els Estats Units d'Amèrica i Canadà, entre d'altres, en l'àmbit de la Unió Europea no es permet l'auto-certificació i per tant, cal que els fabricants obtinguin l'homologació dels seus productes a través d'una autoritat competent o d'un servei tècnic.

Segons la Directiva 2007/46/EC [3] un fabricant és la persona o organisme responsable davant l'autoritat d'homologació de tots els aspectes del procés d'homologació o d'autorització, i de garantir la COP. No és essencial que la persona o organisme participin directament en totes les fases de la fabricació d'un vehicle, sistema, component o UTI independent subjecte al procés d'homologació.

3.1.5. Procés i requisits per a l'homologació d'un vehicle

Tot fabricant que vulgui homologar un vehicle ha d'informar-se del document tècnic que defineix, legisla i regula el procediment d'homologació. Aquest document especifica l'organisme del qual prové i a on s'ha de dirigir en el cas que sorgeixin dubtes.

Un cop fet això, aquest fabricant ha d'estudiar els documents legals que afecten al seu producte i la seva aplicació, i determinar si s'ha de fer o no alguna modificació del vehicle que vol homologar per tal que s'ajusti als requeriments indicats.

A continuació, cal sol·licitar l'homologació del vehicle a l'Administració responsable que, normalment, com s'ha comentat amb anterioritat, ha delegat la realització de les proves necessàries a un servei tècnic.

Finalment, és necessari enviar tant la documentació del vehicle candidat a l'homologació (fitxa de característiques), com la quantitat de prototips necessaris que el servei tècnic requereixi per realitzar les proves.

Normalment, com és sabut, els fabricants de vehicles dissenyen gammes de vehicles amb diferents models, molts dels quals sota el mateix nom comercial però amb algunes característiques lleugerament diferents (motorització, configuracions del sistema de frenada, etc.). Aquest fet no obliga a haver d'homologar tots i cada una de les variants i versions d'aquests models sinó que es pot homologar el tipus de vehicle. Per tal de concedir l'homologació de tipus, el servei tècnic té l'obligació d'escollir quin o quins models de la gamma s'han d'utilitzar en cada tipus d'assaig, és a dir, quin és el més representatiu per a cada prova o, dit d'una altra manera, quin és el que pot presentar els resultats més negatius. S'entén que si aquest model supera les proves a les que ha estat sotmès, la resta de models de la gamma també seran vàlids. Per exemple, si un model que té una via estreta i el centre de gravetat alt supera una prova dinàmica de bolcada, s'assumeix que una variant o versió d'aquest model amb una via més ampla i amb el centre de gravetat més baix també la superarà.

Tot i que el servei tècnic hagi donat com a vàlida la documentació presentada pel fabricant i els tots resultats dels assajos dels prototips hagin estat favorables, l'Administració ha d'assegurar-se que, un cop es comenci la producció d'aquesta gamma de vehicles, els vehicles que es posaran en circulació no tindran diferències significatives respecte als prototips que s'han assajat. Per garantir-ho, els processos d'homologació impliquen molt sovint una visita dels inspectors a les instal·lacions on es produiran els vehicles. Si els inspectors consideren que els procediments, controls de qualitat i gestió són suficients per assegurar que tots els vehicles que es posaran al mercat mantindran els mateixos estàndards tècnics, s'atorga al fabricant la COP i, per tant, l'Administració podrà concedir l'homologació de tipus al fabricant i aquest pot començar a produir i vendre els models dins del tipus homologat.

3.2. Normatives referents al control d'estabilitat de vehicles industrials

Un cop fet un breu resum sobre les homologacions, les normatives a les que es refereixen i el procés que cal seguir per poder homologar un tipus de vehicle, ara es focalitzarà en la reglamentació parcial en la qual es defineixen els requisits dels sistemes de control d'estabilitat i en la qual se centra aquest projecte.

Els sistemes de control d'estabilitat basen el seu funcionament en funcions electròniques que actuen sobre els frens dels vehicles. És per aquest motiu que aquesta tecnologia es recull en la Reglamentació ECE R.13-11 que tracta sobre els vehicles de categoria M₂, M₃, N i O en allò referent a la frenada.

Tot seguit s'explica què defineix la normativa actual com a sistema de control d'estabilitat, s'analitza l'evolució històrica de les reglamentacions referents als sistemes de frenada dels vehicles i d'aquelles que en algun moment han tingut en compte l'estabilitat dels vehicles comercials. Per altra banda, es presenta la Reglamentació ECE R.13-11, així com una explicació sobre la tendència que estan seguint les autoritats i el sector industrial en aquest tema. Finalment, s'avalua i es justifica, mitjançant un breu estudi estadístic, el fet que les autoritats hagin decidit aplicar aquestes normatives.

3.2.1. El sistema de control d'estabilitat

Segons la normativa ECE R.13-11 [4] es defineix com a ESC (també anomenat Vehicle Stability Function o, simplement, VSF) la funció electrònica de control que millora l'estabilitat dinàmica d'un vehicle. Una funció d'estabilitat incorpora almenys una de les funcions següents:

- **Control direccional:** funció que ajuda al conductor, en el cas de condicions de sobre-viratge i sub-viratge, dins dels límits físics del vehicle per tal de, en el cas del vehicle tractor, mantenir la direcció desitjada pel conductor i, en el cas del remolc o semiremolc, mantenir-ne la direcció respecte al tractor.
- **Control de bolcada:** funció que reacciona a la situació de bolcada per tal d'estabilitzar el vehicle remolcador, el remolc o la combinació d'ambdós durant les maniobres dinàmiques i dins dels límits físics del vehicle.

En el cas del control direccional, la funció ha de tenir l'habilitat de controlar automàticament i individualment la velocitat de les rodes de l'esquerra i de la dreta de cada eix o grup d'eixos mitjançant una frenada selectiva basada en l'avaluació, en temps real, del comportament real del vehicle en comparació amb el comportament del vehicle demandat pel conductor.

En qualsevol cas, l'ESC no es requereix:

- a) Quan la velocitat del vehicle és inferior als 20 km/h;
- b) Fins que el test de comprovació de correcte funcionament dels diferents sistemes, efectuat a l'engegar el vehicle, s'ha acabat;
- c) Quan el vehicle és conduït marxa enrere;
- d) Quan s'ha desactivat automàticament o manualment. En aquest cas, cal que es compleixin les següents condicions:
 - i. Quan un vehicle incorpora un sistema capaç de desactivar l'ESC per tal de poder proveir un augment de tracció modificant el funcionament del tren de transmissió, la desactivació i la seva reinstauració han d'estar relacionades amb l'operació que canvia la funcionalitat del tren de transmissió.
 - ii. Quan un vehicle equipa l'opció de poder desactivar manualment l'ESC, aquest s'ha de reactivar cada cop que es torna a engegar el vehicle.
 - iii. Un senyal òptic d'avís ha d'informar al conductor que l'ESC està desactivat.

Per poder dur a terme la funcionalitat descrita, apart de la frenada selectiva i/o un sistema de frenada automàtica, l'ESC ha d'incloure el següent:

- a) L'habilitat de controlar l'entrega de potència del motor.
- b) En el cas del control direccional: La determinació del comportament instantani del vehicle mitjançant l'adquisició de dades sobre els valors de la quantitat de guinyada, l'acceleració lateral, les velocitats de les rodes, els paràmetres del motor i l'actuació del conductor sobre el control de la frenada i els sistemes de direcció del vehicle. Només es pot extreure informació "*on-board*" i, per tant, no es pot utilitzar informació obtinguda mitjançant un sistema extern al vehicle a no ser que es demostrï, davant del servei tècnic, la correlació amb els valors mesurats en el vehicle i en qualssevol condicions de conducció.
- c) En el cas de control de bolcada: La determinació del comportament instantani del vehicle mitjançant l'adquisició de dades sobre els valors de la força vertical a les rodes (o almenys l'acceleració lateral i les velocitats de les rodes) i l'actuació del conductor sobre el control de la frenada i els sistemes de direcció del vehicle. Només es pot extreure informació "*on-board*" i, per tant, no es pot utilitzar informació obtinguda mitjançant un sistema extern al vehicle a no ser que es demostrï, davant del servei tècnic, la correlació amb els valors mesurats en el vehicle i en qualssevol condicions de conducció.

3.2.2. Evolució històrica de les normatives

Entenent la definició presentada a l'apartat anterior, es pot concloure a mode de resum que l'ESC actua sobre els frens de cada roda de manera independent per tal d'evitar la pèrdua d'estabilitat, ja sigui direccional o de bolcada. El fet d'actuar automàticament i independentment sobre els frens de cada roda és una habilitat que ja incorporava l'EBS i és per això que es considera que, en certa manera, l'ESC és una evolució d'aquest sistema. A la seva vegada, l'EBS ja incorpora la funció de l'ABS, sistema que actualment encara és d'obligatòria implementació en alguns vehicles. Es pot observar doncs que el subjecte del que tracta aquest projecte és l'evolució d'altres sistemes més senzills. Com no podia ser d'altra manera, les normes, per tal d'adaptar-se a l'avanç de la tècnica, també s'han anat modificant i, per tal d'entendre l'estat de la normativa actual (i concretament en allò referent

a l'ESC) cal fer un repàs sobre els seus precedents. Per aquest motiu, a continuació es presenten algunes de les normatives que s'han aplicat al llarg del temps i que són precedents a la normativa sobre frens que s'aplica actualment, i que és la primera que té en compte el concepte d'estabilitat en el vehicle industrial, el reglament ECE R.13-11.

3.2.2.1. Reglament ECE R.107-05

Aquesta normativa introduïda l'any 1998¹ substitueix les antigues reglamentacions 36 i 52 (referents a grans vehicles de transport de passatgers i petits autobusos) i es refereix a les característiques constructives dels vehicles de categoria M₂ i M₃.

Tot i que no és una reglamentació específicament de frens, a l'Annex 3 es defineix que tots els vehicles esperant a obtenir l'homologació de tipus han de superar un test pel qual es garanteix una estabilitat suficient tal que el vehicle no bolqui abans que la superfície en la qual es recolza superi els 28 ° d'inclinació respecte la horitzontal en ambdós costats [5].

3.2.2.2. Reglament ECE R.111

Aquest reglament implantat l'any 2000 tracta sobre l'estabilitat de bolcada dels vehicles cisterna de la categoria N₂, N₃, O₃ i O₄ encarregats de transportar mercaderies perilloses.

Per tal de determinar l'estabilitat d'aquests tipus de vehicles, i amb l'objectiu de poder atorgar l'homologació de tipus, el reglament ECE R.111 estableix que cal dur a terme un test d'inclinació que simuli un gir no vibratori i en estat estacionari [6].

El test s'ha de dur a terme en una plataforma de bolcada i el vehicle ha de suportar una inclinació de 23° respecte l'horitzontal en ambdós sentits de bolcada sense que els pneumàtics exteriors perdin el contacte amb la plataforma. Òbviament el valor de l'angle establert per la reglamentació no és aleatori: la intenció d'aquest test estàtic és simular una maniobra dinàmica de gir per la qual el vehicle assoleix una acceleració lateral de 4 m/s². Aquesta acceleració correspon a un valor, fixat entre els fabricants i les autoritats al moment

¹ Tot i que es va publicar l'any 1998, l'actual sèrie d'esmenes (5a, corresponent al "05" del seu nom) va ser publicada el Juny de 2012.

de l'establiment d'aquesta normativa, que tenia en compte les característiques físiques (dimensions, repartiments de massa, etc.) i mecàniques (velocitats assolibles, tipus de suspensions, etc.) dels vehicles produïts en aquell moment.

3.2.2.3. Reglament ECE R.13-11

Com s'ha explicat abans, la reglamentació ECE R.13 és la que regula la frenada dels vehicles de les categories M_2 , M_3 , N i O. Realment, aquesta normativa és més antiga que les presentades com a antecedents, i des de la data de la seva publicació l'any 1970 defineix aspectes de la frenada com la morfologia del sistema de frenat, temps d'actuació del control sobre la transmissió, requisits mínims de la transmissió, etc. No va ser però fins l'esmena 11 (d'aquí el nom sencer de la reglamentació R.13-11) implementat l'any 2008 que es va introduir el concepte d'estabilitat del vehicle en referència als sistemes de frenada entre d'altres novetats.

Segons aquest reglament, tots els vehicles de la següent llista han d'incorporar VSF¹ [4]:

- a) M_2 , M_3 i N_2
- b) N_3 amb no més de 3 eixos
- c) N_3 amb 4 eixos amb una MMA igual o inferior a les 25 tones i amb un codi de diàmetre de roda igual o inferior a 19,5.

En aquest aspecte, la normativa és més restrictiva i determina que la funció d'estabilitat del vehicle ha d'incloure tant el control de bolcada com el control direccional i complir els requeriments esmentats a l'apartat 4.2.1.

Els vehicles de la categoria N_1 que no tinguin més de 3 eixos poden estar equipats amb ESC. Si és així, la funció d'estabilitat ha d'incloure el control de bolcada i el control direccional i complir els requeriments esmentats a l'apartat 4.2.1.

¹ Els vehicles *Off-road*, de propòsits especials, autobusos de les categories M_2 i M_3 de Classe I i Classe A, autobusos i autocars articulats i tractors per a semiremolcs amb una massa total entre 3,5 i 7,5 tones estan exclosos de complir aquests requisits.

Finalment, depenent de la categoria del vehicle, la quantitat d'eixos i el tipus de transmissió, es preveu que als vehicles equipats amb VSF pendants d'homologació de tipus se'ls apliqui les provisions següents:

Categoria del vehicle		Data d'aplicació	
		Les parts contractants han de garantir l'aprovació si el tipus de vehicle a homologar compleix els requeriments d'aquesta regulació (vehicles nous)	Les parts contractants han de refusar la nova matriculació de vehicles que no compleixin els requeriments d'aquesta regulació
M₃	Classe III	11 / 07 / 2009	11 / 07 / 2015
	<16 tones (transmissió pneumàtica)	11 / 07 / 2010	11 / 07 / 2011
	Classe II i B (transmissió hidràulica)	11 / 07 / 2013	11 / 07 / 2015
	Classe III (transmissió hidràulica)	11 / 07 / 2013	11 / 07 / 2015
	Classe III (transmissió de control pneumàtica i transmissió d'energia hidràulica)	11 / 07 / 2014	11 / 07 / 2016
	Classe II (transmissió de control pneumàtica i transmissió d'energia hidràulica)	11 / 07 / 2014	11 / 07 / 2016
	Diferents de les anteriors	11 / 07 / 2010	11 / 07 / 2011
N₂	Transmissió hidràulica	11 / 07 / 2013	11 / 07 / 2015
	(transmissió de control pneumàtica i transmissió d'energia hidràulica)	11 / 07 / 2014	11 / 07 / 2016
	Diferents de les anteriors	11 / 07 / 2012	11 / 07 / 2014
N₃	Tractors de 2 eixos per a semiremolcs	11 / 07 / 2009	11 / 07 / 2011
	Tractors de 2 eixos per a semiremolcs amb transmissió de control pneumàtica (ABS)	11 / 07 / 2011	11 / 07 / 2013
	3 eixos amb transmissió de control elèctrica (EBS)	11 / 07 / 2011	11 / 07 / 2013
	2 i 3 eixos amb transmissió de control pneumàtica (ABS)	11 / 07 / 2012	11 / 07 / 2014
	Diferents de les anteriors	11 / 07 / 2010	11 / 07 / 2012

Taula 3.3. Dates d'aplicació previstes pel Reglament ECE R.13-11 sobre els diferents tipus de vehicles equipats amb VSF [4]

A nivell estrictament de la U.E., i pel que fa a l'aplicació d'aquesta normativa als seus estats, el document que regula la data d'aplicació és el Reglament CE 661/2009 [7]. Aquest reglament estableix unes dates a partir de les quals és obligatori que els fabricants de vehicles pesants que sol·licitin l'homologació de tipus incorporin sistemes de control d'estabilitat als seus vehicles:

Categoria del vehicle		Data d'aplicació
M ₃	Classe III	01 / 11 / 2011
	<16 tones (transmissió pneumàtica)	01 / 11 / 2011
	Classe II i B (transmissió hidràulica)	11 / 07 / 2013
	Classe III (transmissió hidràulica)	11 / 07 / 2013
	Classe III (transmissió de control pneumàtica i transmissió d'energia hidràulica)	11 / 07 / 2014
	Classe II (transmissió de control pneumàtica i transmissió d'energia hidràulica)	11 / 07 / 2014
	Diferents de les anteriors	01 / 11 / 2011
N ₂	Transmissió hidràulica	11 / 07 / 2013
	(transmissió de control pneumàtica i transmissió d'energia hidràulica)	11 / 07 / 2014
	Diferents de les anteriors	11 / 07 / 2012
N ₃	Tractors de 2 eixos per a semiremolcs	01 / 11 / 2011
	Tractors de 2 eixos per a semiremolcs amb transmissió de control pneumàtica (ABS)	01 / 11 / 2011
	3 eixos amb transmissió de control elèctrica (EBS)	01 / 11 / 2011
	2 i 3 eixos amb transmissió de control pneumàtica (ABS)	11 / 07 / 2012
	Diferents de les anteriors	01 / 11 / 2011

Taula 3.4. Dates d'aplicació previstes pel Reglament CE 661/2009 sobre els diferents tipus de vehicles equipats amb VSF [7]

Tenint en compte que aquestes dates d'aplicació són molt recents, els fabricants fa poc que han començat a sol·licitar cada cop més l'homologació de tipus per a vehicles que incorporen ESC.

3.2.3. Tendència futura

Comparant la normativa actual i la tecnologia aplicada, pot semblar que, en aspectes de seguretat activa, els turismes estan més evolucionats que els vehicles industrials. Aquest fet no és del tot cert ja que, des de fa temps, tant les autoritats com els fabricants estan dedicant molts esforços per generar coneixement i desenvolupar noves tecnologies per fer que els vehicles industrials siguin més segurs, tant per als seus ocupants com per la resta d'usuaris de la via.

Una mostra d'aquest fet és, per exemple, la publicació de les reglamentacions EU 347/2012 i 351/2012 referents a la implantació de l'AEBS i del LDWS respectivament.

Les sigles AEBS corresponen a *Advanced Emergency Braking System*, sistema capaç de detectar la possibilitat de col·lisió imminent i efectuar una frenada d'emergència de manera

automàtica per tal d'evitar-la. El reglament que regula la implementació de l'AEBS, defineix algunes de les característiques del sistema i els assajos que cal fer per garantir l'homologació de tipus. Es preveu l'aplicació progressiva als vehicles que entren en funcionament o es matriculen a partir de novembre de 2013, acabant amb la implantació total i obligatòria el mateix mes de l'any 2018.

LDWS són les inicials corresponents a *Lane Departure Warning System*, sistema que avisa al conductor si detecta que el vehicle ha creuat un carril de manera no intencionada. La reglamentació EU 351/2012 en preveu la futura incorporació als vehicles de nova fabricació i en defineix les característiques i procediments d'assaig per poder garantir l'homologació de tipus.

3.2.4. Estudi i justificació de l'aplicació de les normatives referents al control d'estabilitat de vehicles

En aquest apartat es mostren algunes dades sobre l'accidentalitat i es presenten estadístiques per les quals es considera que la incorporació de l'ESC en vehicles comercials pesants pot contribuir, de forma significativa, a la millora de la seguretat vial.

3.2.4.1. L'objectiu de la Comissió Europea: Reduir les víctimes mortals a la meitat

De tots els mitjans de transport, el transport per carretera és el més perillós i el que més vides sacrifica al llarg de l'any.

Des de l'any 1970 fins al 2000 més de 1.640.000 ciutadans de la Unió Europea van morir a la carretera. Un fet curiós i alhora alarmant és que, cap a l'any 2000 el nombre total de víctimes diàries a les carreteres europees era pràcticament idèntic al nombre de víctimes registrades quan s'estavella un avió de passatgers de mida mitjana. A l'any 2000 els accidents de carretera van causar més de 50.000 morts i 1.700.000 ferits a la UE, dels quals, el grup més afectat era el de joves d'entre 14 i 25 anys. Aquell mateix any el cost directe mesurable dels accidents de circulació ascendia a 45.000 milions d'euros i el cost indirecte s'estimava d'entre 3 i 4 vegades aquesta xifra. En resum, l'any 2000 els accidents del transport per carretera suposaven un cost de 160.000 milions d'euros o, el que és el mateix, el 2 % del PNB de la UE.

El fet que totes aquestes dades es refereixin a l'any 2000 no és casualitat. Aquell any la Comissió Europea va publicar el Llibre Blanc sobre la política de transports de la Unió de cara a l'any 2010 i en el qual es marcava l'objectiu de reduir a la meitat el nombre de víctimes mortals durant el període 2000-2010 [8].

L'actuació per a assolir l'objectiu s'havia de centrar tant en la millora de les infraestructures de transport així com en la millora de la seguretat dels vehicles mitjançant la promoció de noves tecnologies i la normalització tècnica.

En la Figura 3.3 es mostra l'evolució de les víctimes mortals a la Unió Europea des de l'any 2000 fins a l'any 2012 [9]:

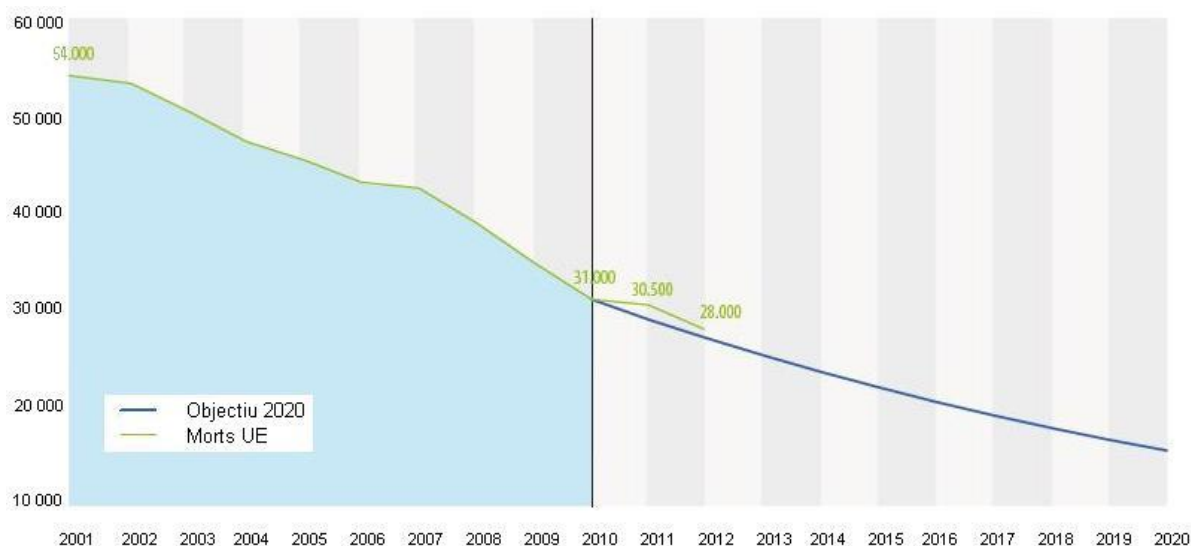


Figura 3.3. Evolució de les víctimes mortals a la UE entre 2000-2012 i objectiu per al 2020 [9]

Tot i que els objectius marcats no es van assolir del tot a la Unió Europea l'experiència va resultar tan positiva que a l'any 2010 la Comissió Europea es va tornar a marcar l'objectiu reduir a la meitat el nombre de víctimes durant el període 2010-2020. La tendència a seguir per assolir aquest objectiu correspon a la línia blava de la figura anterior.

3.2.4.2. L'Efectivitat de l'ESC en la prevenció d'accidents en turismes i SUV.

Degut que ja fa temps que els sistemes de control d'estabilitat s'incorporen als turismes (molt abans que als vehicles comercials pesants), s'ha pogut recopilar dades i realitzar

estudis estadístics per a obtenir resultats sobre la seva efectivitat en aquests tipus de vehicles.

Tot i que, com s'ha comentat anteriorment, la Comissió Europea està molt implicada en la promoció de sistemes que ajudin a la disminució de víctimes a la carretera, la majoria d'estudis i estadístiques que contemplen aquest sistema s'han realitzat als Estats Units d'Amèrica. Com a exemple, un document publicat al 2006 [10] i basat en dades recollides entre els anys 1997 i 2003 va determinar que l'ESC va ser la causa de la reducció d'accidents¹ de turismes i de SUV (Sport Utility Vehicle) en un 34 % i un 59 % respectivament. Aquests percentatges augmenten si es consideren aquells accidents que acaben en bolcada, sent la reducció del 71 % pel que fa a turismes i del 84 % pel que fa als SUV. Si es té en compte només els accidents amb víctimes mortals, l'ESC va reduir un 35 % els de turismes i un 67 % els de SUV. Pel que fa als accidents amb víctimes mortals que acabaven en bolcada, les dades van mostrar que l'ESC va ajudar a reduir-los un 69 % en turismes i un 88 % en SUV.

Sembla doncs que l'ESC ha esdevingut des de la seva creació en un sistema clau pel que fa a la reducció d'accidents i de víctimes en el transport per carretera.

3.2.4.3. Reducció en l'accidentalitat de camions rígids, autobusos i autocars.

La Taula 3.5 mostra algunes de les dades recopilades per la direcció general de trànsit de l'estat espanyol [11] referents als accidents que involucren vehicles de mercaderies i transport de passatgers:

Any	Accidents amb víctimes	Morts ocupants	Morts tercers	Morts total
2005	9712	330	628	959
2006	10973	208	741	949
2007	10734	136	649	789
2008	9323	132	530	662

¹ Considerant aquells accidents en els que es veu implicat un sol vehicle. No es tenen en compte doncs accidents entre dos o més vehicles (xocs frontals, laterals, etc.).

Any	Accidents amb víctimes	Morts ocupants	Morts tercers	Morts total
2009	7713	113	411	524
2010	7340	85	391	476
2011	6946	88	337	425

Taula 3.5. Accidents a Espanya amb vehicles M₃, N₂ i N₃ implicats en el període 2005- 2011 [11]

Analitzades aquestes dades i tenint en compte els percentatges d'efectivitat de l'ESC presentats a l'apartat anterior, pot semblar que aquest sistema ha de suposar un gran avantatge a l'hora de reduir el nombre de víctimes quan es tracta d'un accident en el que es veu implicat un vehicle comercial. Cal recordar però, que l'efectivitat demostrada en aquests estudis es refereix als turismes i als SUV's. Es pot dir el mateix pels vehicles pesats? A dia d'avui s'ha investigat poc pel que fa als beneficis de seguretat que aporten els sistemes de control d'estabilitat als vehicles comercials però, tot i això, la recerca que s'ha fet suggereix millores semblants. Analitzant els resultats extrets d'alguns articles, els autors atribueixen una estimació a la baixa de la seva efectivitat en un 53 % [12].

3.3. Procediments d'assaig d'ESC per a l'homologació de tipus

Per poder adquirir l'homologació de tipus, el reglament ECE R.13-11 defineix uns procediments d'assaig d'aquest sistema. Concretament estableix que:

El correcte funcionament de l'ESC s'ha de demostrar davant d'un servei tècnic mitjançant maniobres dinàmiques en un vehicle (com a mínim) que tingui la mateixa funció d'estabilitat que el tipus de vehicle que es vol homologar. Això es pot fer comparant els resultats obtinguts, per una condició de càrrega donada, amb l'ESC del vehicle activat i desactivat. Com a alternativa a la realització de les proves dinàmiques per a altres vehicles i altres

condicions de càrrega, però equipats amb el mateix ESC, es poden presentar els resultats de les simulacions fetes amb computador¹.

Fins que no s'acordin els procediments dels assajos, el mètode pel qual es demostra la funcionalitat de l'ESC ha de quedar acordat entre el fabricant i el servei tècnic i cal que s'incloguin les condicions crítiques de control direccional i control de bolcada apropiades per a la funció d'estabilitat que es prova. Els resultats dels tests han de constar a l'informe de l'homologació de tipus [4].

Tot seguit, a la Taula 3.6. es mostren les maniobres apropiades per fer els assajos²:

Control direccional	Control de bolcada
Test de radi decreixent	Test circular en estat estacionari
Test d'entrada graó al volant	Gir en forma de J
Test d'entrada sinusoidal al volant amb demora	
Gir en forma de J	
Canvi de carril simple amb diferent μ	
Doble canvi de carril	
Test de gir invertit o "test de l'ham de peix"	
Test de puls d'entrada al volant	

Taula 3.6. Maniobres d'assaig d'ESC recomanades per a l'homologació de tipus [4]

Les instruccions d'assaig de cada una de les maniobres es troben a l'Annex A del projecte.

3.3.1. Descripció dels assajos

És necessari parar atenció i analitzar l'últim paràgraf de l'apartat anterior. El fet que la normativa tan sols suggereixi uns tipus d'assajos concrets i no especifiqui quins són aquells que proporcionen resultats més fiables fa que molts dels serveis tècnics no s'hagin decidit encara a dur-los a terme. Tot i que en aquest aspecte els fabricants de sistemes de control

¹ La reglamentació ECE R.13-11 defineix els procediments d'utilització de l'eina de simulació per ordinador, així com la seva validació.

² Es poden dur a terme altres maniobres alternatives acordades entre el fabricant i el servei tècnic.

d'estabilitat van més avançats, és de vital importància que els serveis tècnics, com a entitat designada pel Ministeri per a dur a terme assajos d'homologació, puguin garantir la bondat dels resultats d'uns assajos i la imparcialitat en la seva anàlisi per poder atorgar l'homologació de tipus.

Seguidament es presenten els assajos proposats en el reglament, es descriuen i se n'analitzen els avantatges i els inconvenients de cadascun d'ells. És necessari comentar que alguns dels assajos que la Reglamentació estableix no estan definits per estàndards ni per altres tipus de documents d'entitat "oficial".

Abans de definir els assajos cal recordar que en aquest projecte s'analitzen els sistemes de control d'estabilitat de vehicles de categoria M₃, i N₃ rígids. El fet que se n'exclouin els conjunts de vehicles camió rígid + remolc i tractora + semiremolc rau en que els remolcs i semiremolcs porten mòduls d'ABS, EBS i/o ESC homologats com a component. Els fabricants es limiten a instal·lar-los respectant les especificacions del fabricant, cosa que els surt més econòmica que desenvolupar-ne un. En general, els fabricants de camions fan grans sèries i per tant, els surt més a compte desenvolupar-ne un de propi per poder instal·lar-lo als seus diferents models que comprar-lo de manera separada.

3.3.1.1. Assajos de control de bolcada

L'objectiu dels assajos que es presenten a continuació és determinar l'efecte de l'ESC pel que fa a l'estabilitat de bolcada.

3.3.1.1.1. Gir en forma de J

Aquest mètode consisteix en analitzar el comportament d'un vehicle circulant a una velocitat longitudinal constant i descrivint un trajecte amb curvatura constantment creixent, és a dir, seguint una corba que es tanca. L'assaig queda definit per la normativa ISO 11026:2010 [13].

L'estat inicial de l'assaig és el vehicle en línia recta i a velocitat longitudinal constant. La trajectòria que ha de seguir el vehicle està definit pel ràtio de curvatura k_c , el qual dona la curvatura k . Així doncs es defineix:

$$k = k_c \cdot s \quad (\text{Eq.3.1})$$

On s és la distància al llarg de la trajectòria descrita durant l'assaig.

A velocitat longitudinal V_x constant, la rapidesa en què s'augmenta l'acceleració lateral (en anglès jerk) k_a és constant:

$$k_a = k_c \cdot V_x^3 \quad (\text{Eq.3.2})$$

La trajectòria es pot expressar en coordenades cartesianes de la manera següent:

$$X_E(s) = \int \cos(v) ds \quad (\text{Eq.3.3})$$

$$Y_E(s) = \int \sin(v) ds \quad (\text{Eq.3.4})$$

On v és l'angle de la trajectòria, calculat com:

$$v = \int k \cdot ds = \frac{k_a}{2 \cdot V_x^3} \cdot s^2 \quad (\text{Eq.3.5})$$

Analitzant aquestes fórmules es pot extreure que l'exigència d'aquesta prova depèn del jerk i de la velocitat longitudinal del vehicle. Per tant, a velocitats més altes, amb un cert jerk i una certa trajectòria l'assaig és més exigent que a velocitats més baixes, amb el mateix jerk i descrivint una altra trajectòria. És a dir, variant el jerk canviant la velocitat en una trajectòria donada no és exactament el mateix que canviar la trajectòria mentre es manté la velocitat.

Les condicions de càrrega estàndard per a l'assaig són les de càrrega màxima amb el centre de gravetat suficientment alt com per produir bolcada durant l'assaig amb l'ESC desactivat.

Per dur a terme aquest test cal que el vehicle comenci en línia recta i acabi en una corba circular. La transició entre la línia recta i la circumferència s'ha de fer de manera que el jerk es mantingui constant mentre es manté una velocitat V_x constant. La curvatura de la part circular ha d'assegurar que s'assoleix com a mínim una acceleració lateral superior en un 50 % a l'acceleració simulada en el test estàtic de bolcada. Aquest fet suposa que, si l'acceleració simulada en la plataforma d'inclinació a 23° és equivalent a 4 m/s², aquest assaig ha d'exigir acceleracions superiors als 6 m/s² en la part de trajectòria circular.

La part de la trajectòria en que la corba es tanca ha de seguir les següents equacions (expressades en m i en coordenades cartesianes):

$$X_m = \sum_{i=0}^{i=m} \cos\left(\frac{k_a}{2 \cdot V_x^3} \cdot s_i^2\right) \cdot \Delta s \quad (\text{Eq.3.6})$$

$$Y_m = \sum_{i=0}^m \sin\left(\frac{k_a}{2 \cdot V_x^3} \cdot s_i^2\right) \cdot \Delta s \quad (\text{Eq.3.7})$$

On Δs és un valor que s'incrementa al llarg del recorregut descrit. Aquest paràmetre ha de ser menor a 0,01 m per tal d'assegurar suficient precisió.

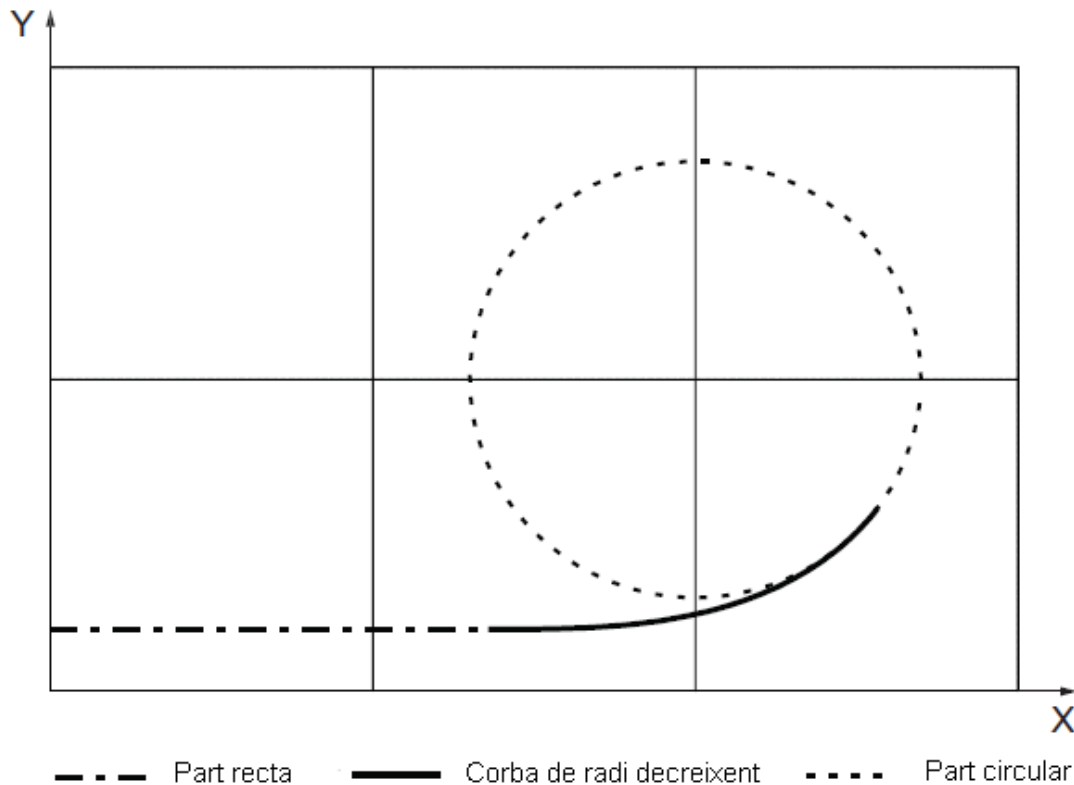


Figura 3.4. Representació de la trajectòria a seguir en un assaig de gir en forma de J [13]

Aquest assaig resulta força senzill d'implementar ja que, degut al fet que el servei tècnic en el qual es desenvolupa aquest projecte compta amb una plataforma dinàmica en la qual hi ha marcades circumferències de diferents radis. L'única zona que s'hauria de definir per a fer l'assaig i que presenta certa dificultat a l'hora d'implantar-lo és la corba de radi decreixent que enllaça la recta amb la part circular.

3.3.1.1.2. Test circular en estat estacionari

Segons l'estàndard ISO 14792:2011 [14] durant aquest test el vehicle ha de girar per una trajectòria circular de radi constant a velocitat constant. El procediment sencer s'ha de repetir per almenys tres trajectòries de radi diferent i per a cada radi s'ha de repetir l'assaig per a

velocitats cada cop superiors. La velocitat a la qual s'ha de realitzar el primer assaig ha de ser la mínima per la qual s'activa l'ESC que, segons la normativa ha de ser de 20 km/h. Les velocitats superiors s'han de triar de tal manera que no comportin un increment de l'acceleració centrípeta¹ major de 0,5 m/s².

Cal que un dels assajos sigui en una trajectòria de radi 100 m, la resta de repeticions a altres radis han de cobrir el màxim rang possible, és a dir, radis significativament menors i majors de 100 m. Siguin quins siguin els radis escollits cal que el punt de referència del vehicle (situat al seu centre de gravetat) no es desviï més de 0,5 m de la trajectòria ideal en tot l'assaig.

Com es pot observar, l'execució d'aquest test és senzilla i tan sols una plataforma dinàmica amb circumferències de diferents radis per poder dur-lo a terme.

3.3.1.2. Assajos de control direccional

Tot seguit es presenten els assajos dinàmics d'ESC pel que fa a l'estabilitat direccional, és a dir, el control de sub-viratge i sobre-viratge.

3.3.1.2.1. Gir en forma de J

Pel que fa al control direccional, aquest test s'efectua de la mateixa manera que el gir en forma de J del control de bolcada [13]. En aquest cas però es recomana que es dugui a terme en superfícies de baix coeficient de fregament. Aquest fet s'explica tenint en compte la morfologia i distribució de la massa en els vehicles de les categories que s'estudien en aquest projecte: quan un camió/autocar/autobús perd l'estabilitat lateral, degut que el seu centre de gravetat és alt i el seu ample de via és estret (en comparació amb la seva alçada), aquest tendeix a bolcar. Quan l'acceleració lateral aplicada al centre de gravetat és alta i la força de fricció entre el pneumàtic i el sòl també ho és, el centre de gravetat es desplaça cap

¹ És necessari comentar que l'estàndard especifica que, a part d'alguns casos concrets, com per exemple el de vehicles amb una distància entre eixos llarga efectuant un gir de radi petit, l'acceleració lateral i l'acceleració centrípeta no presenten diferències significatives. Tot i això, es recomana tenir en compte l'acceleració centrípeta a l'hora d'analitzar les dades obtingudes durant l'assaig.

a l'exterior del gir. Així doncs, tant la massa del vehicle com l'acceleració lateral generen un moment de bolcada. Si aquesta força de fricció disminueix prou (per exemple, quan la superfície per on es circula té un coeficient de fricció baix) el moment generat no és suficient per bolcar el vehicle i aquest llisca lateralment.

A les instal·lacions de l'empresa on s'ha desenvolupat el projecte es disposa d'una pista circular de baix coeficient de fregament en la qual es podria realitzar aquesta maniobra, fet que facilitaria la implantació d'aquest procediment.

3.3.1.2.2. Test de radi decreixent

L'assaig de radi decreixent parteix de la mateixa base que el gir en forma de J i es deriva del mateix estàndard ISO **[13]**, tot i que en aquest cas no s'inicia el test en velocitat constant i línia recta sinó que es parteix d'un moviment circular en velocitat constant i estat estacionari i es va reduint el radi de curvatura fins que s'assoleix una acceleració lateral suficient per desestabilitzar el vehicle. En aquest cas, i pels mateixos motius explicats anteriorment, es recomana que l'assaig es faci en superfícies de baixa adherència.

Aquest assaig té certa complicació ja que la reducció de radi s'ha de fer de manera que el jerk es mantingui constant i per tant s'ha de seguir la trajectòria definida per les equacions (Eq. 4.6) i (Eq. 4.7) de manera molt precisa i al llarg d'una distància relativament llarga, fet que no és trivial. Un altre inconvenient que presenta el test de radi decreixent és que no es disposa d'una instal·lació amb superfície de baixa adherència suficientment extensa per dur-lo a terme.

3.3.1.2.3. Test d'entrada graó al volant

L'estàndard ISO 14793:2011 **[15]** és el que defineix aquest assaig que comença amb el vehicle circulant en línia recta a una velocitat de 80 km/h \pm 3 km/h, 90 km/h \pm 3 km/h o 100 km/h \pm 3 km/h (depenent de la intenció d'ús del vehicle) o a la màxima velocitat del vehicle si és que aquesta és menor a 80 km/h.

Un cop assolit l'estat estacionari en recta amb una velocitat de guinyada dins un rang de \pm 0,009 rad/s (0,5 °/s), cal aplicar, el més ràpid possible, un input de al volant per a assolir un angle de gir concret. Quan s'ha obtingut el gir desitjat, cal mantenir el volant fixe en aquesta posició fins que els paràmetres que es mesuren arriben a l'estat estacionari. A continuació es mostra el procediment:

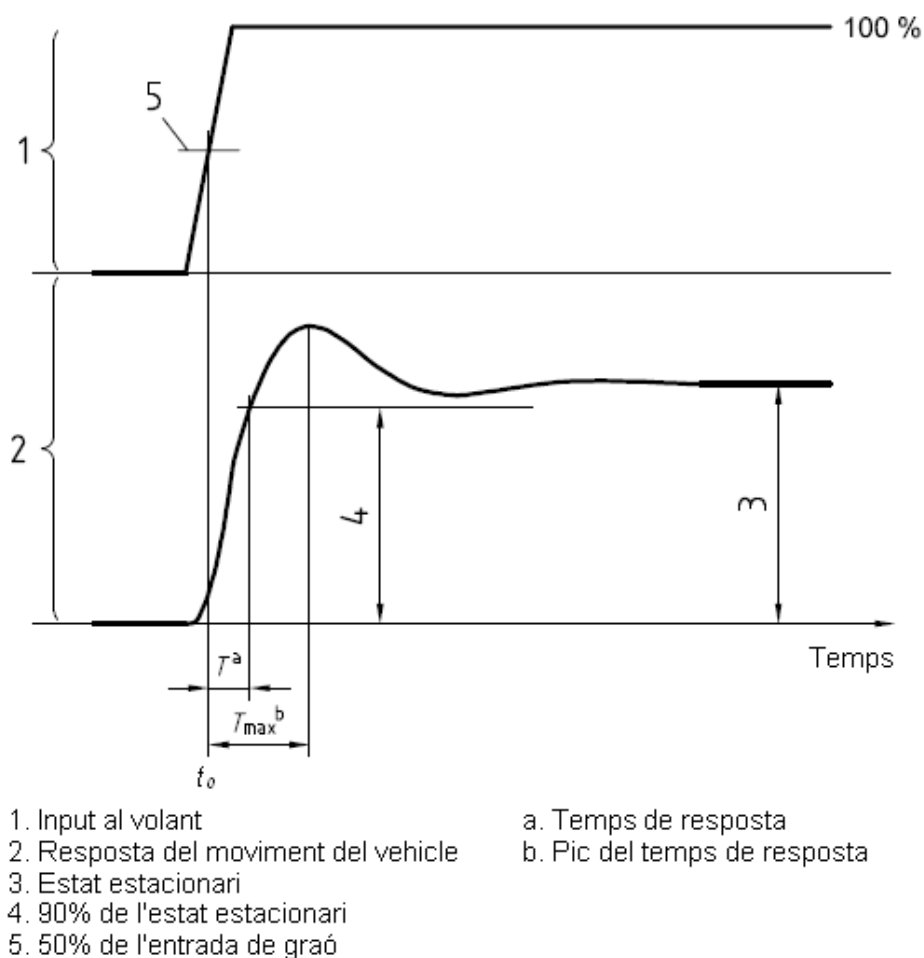


Figura 3.5. Evolució de l'input al volant i de la resposta del vehicle respecte el temps [15]

L'assaig s'ha de fer en ambdós sentits de gir i a una amplitud de gir suficient per provocar una acceleració lateral de 3 m/s^2 . Aquest valor que es demana pot ser menor per raons de seguretat ja que, durant l'assaig, no es pot assolir una acceleració lateral que tingui un valor superior al 75 % del límit de bolcada o al 75 % del límit d'adherència de la calçada.

Per a cada amplitud de gir diferent que es vulgui assajar es demanen com a mínim tres repeticions.

Per realitzar l'assaig es recomana especialment la utilització d'outriggers i d'un autòmat controlat electrònicament per a tenir una bona precisió.

Aquest assaig és senzill de dur a terme i es disposa de les instal·lacions i el material necessaris. Tot i això, encara que es tracta d'un assaig que la R. 13-11 proposa per a la pèrdua de control lateral i tenint en compte que l'estàndard especifica que s'ha d'efectuar sobre una pista seca, té l'inconvenient que és molt possible que el vehicle bolqui en comptes de perdre el control lateralment.

3.3.1.2.4. Test de puls d'entrada al volant

Aquest assaig està definit en el mateix ISO que l'anterior **[15]** i té un procediment relativament semblant.

El test comença amb el vehicle circulant en línia recta a una velocitat constant de 80 km/h \pm 3 km/h, 90 km/h \pm 3 km/h o 100 km/h \pm 3 km/h (depenent de la intenció d'ús del vehicle) o a la màxima velocitat del vehicle si és que aquesta és menor a 80 km/h.

Quan s'assoleix l'estat estacionari en recta amb una velocitat de guinyada dins un rang de \pm 0,009 rad/s (0,5 °/s), s'aplica un input en forma d'ona triangular al volant seguit de 3 a 5 segons de posició neutral (0 ° de gir) del volant.

L'amplada del puls triangular ha de ser d'entre 0,3 s i 2 s. S'ha d'intentar que el sobre-pic quan es gira el volant fins l'angle desitjat així com quan es torna a la seva posició inicial sigui \leq 5 % del valor de l'input.

L'angle de gir a aplicar s'ha de determinar mitjançant la circulació en un cercle en estat estacionari, el radi del qual proporcioni una acceleració lateral de 3 m/s² o menor¹. Si es vol i les propietats del vehicle es comporten de manera lineal, es poden aplicar angles de gir que suposin acceleracions laterals majors.

L'estàndard determina que és necessari realitzar 7 rondes d'assaig.

¹ Si a 3 m/s² el comportament de les propietats del vehicle no són lineals s'escollirà una acceleració menor màxima que asseguri el comportament lineal d'aquestes propietats.

Com en l'anterior cas, aquest test no és excessivament complicat de dur a terme i es disposa de la pista i del material necessari per dur-lo a terme.

3.3.1.2.5. Test d'entrada sinusoidal al volant amb demora

Aquesta maniobra d'assaig està definida en una norma d'assaig de la NHTSA [16] i rep el seu nom a causa de l'angle de gir introduït al volant durant el test: una entrada sinusoidal modificada amb un manteniment del senyal a la segona meitat del període.

L'assaig comença amb el vehicle circulant en línia recta i a una velocitat constant de 72 km/h. En aquest moment s'ha de girar el volant en sentit horari o antihorari per assolir un angle de gir donat en 0,5 s. Un cop arribat a aquest angle de gir del volant cal girar-lo en sentit contrari per assolir el mateix angle però de signe contrari en un segon, punt en el què es manté l'angle de gir durant un altre segon. Passat aquest temps cal tornar el volant a la posició de 0° de gir en 0,5 s. Tot seguit es presenta la Figura 3.6 que clarifica el procediment:

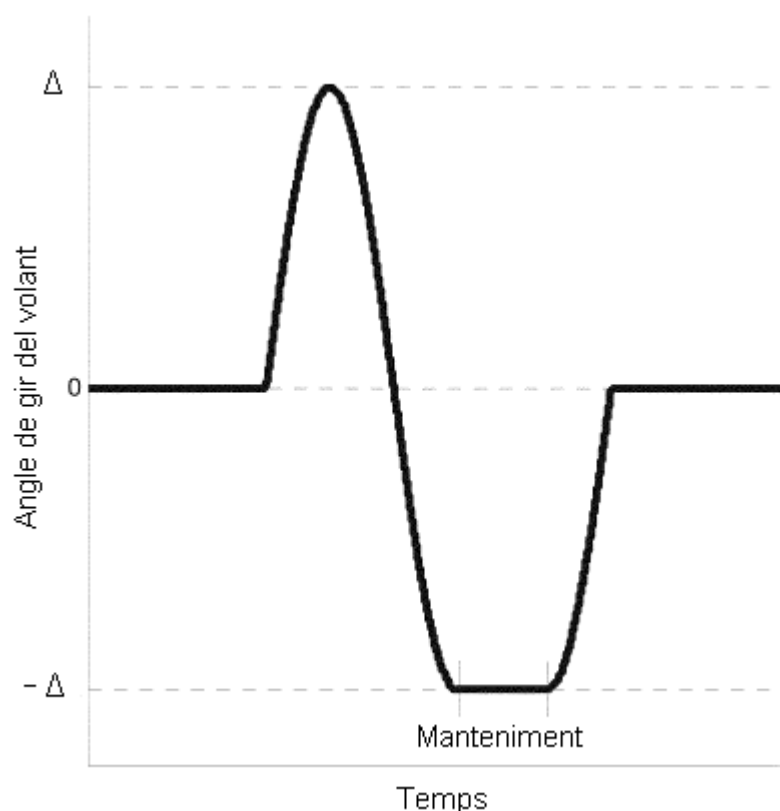


Figura 3.6. Evolució de l'angle de gir del volant respecte el temps [16]

Cal repetir la maniobra per a dues sèries de rondes d'assaig (la primera fent el gir inicial en sentit horari i la segona fent el gir inicial antihorari) en angles compresos entre el 30 % i el 130 % de 197°.

Per poder dur a terme l'assaig es recomana utilitzar un autòmat controlat electrònicament per a que les diferents repeticions siguin el més semblants possibles.

Aquest assaig és relativament senzill de dur a terme i es disposa de l'autòmat i de la plataforma dinàmica per a realitzar-lo.

3.3.1.2.6. Canvi simple de carril amb diferent μ

Els documents ISO 14793:2011 **[15]** i ISO/TR 8725:1988 **[17]** que defineixen aquest assaig parlen d'input d'un període d'ona sinusoïdal al volant en comptes de canvi de carril. Tot i que no és el mateix moviment, són maniobres relativament semblants.

El test comença amb el vehicle circulant en línia recta a una velocitat de 80 km/h \pm 3 km/h, 90 km/h \pm 3 km/h o 100 km/h \pm 3 km/h (depenent de la intenció d'ús del vehicle) o a la màxima velocitat del vehicle si és que aquesta és menor a 80 km/h.

Un cop assolit l'estat estacionari en recta amb una velocitat de guinyada dins un rang de \pm 0,009 rad/s (0,5 °/s), cal aplicar al volant un període d'ona sinusoïdal amb una freqüència de 0,2 Hz. Es recomana també fer servir una freqüència addicional de 0,5 Hz.

L'amplitud de l'angle de gir ha de ser al que l'acceleració lateral sigui de 3 m/s² tot i que, per raons de seguretat mai s'ha d'excedir el 75 % del límit de bolcada o el 75 % del límit d'adhesió de la calçada.

Encara que durant l'assaig la velocitat pugui decreixer, s'ha de mantenir la posició del pedal accelerador.

Cal efectuar 3 rondes d'assaig per a cada direcció de gir. Es recomana que, per tenir major precisió, el gir del volant es faci a terme mitjançant un autòmat controlat electrònicament.

La raó per la qual es dicta que la maniobra s'ha de fer en una superfície amb coeficients d'adherència diferents és per assegurar la pèrdua de control lateral.

Actualment es compta amb una pista amb diferents coeficients de fricció totalment adequada per poder realitzar aquest assaig.

3.3.1.2.7. Doble canvi de carril

L'assaig d'estabilitat de doble canvi de carril queda definit en l'estàndard ISO 3888-1:1999, un document específic per a assaig de vehicles amb una MMA de fins a 3,5 t. Tot i això, la segona part d'aquest document, l'ISO 3888-2:2011 [18], defineix una maniobra anomenada "maniobra per evitar obstacles" que té la mateixa morfologia però és més restrictiva. És per aquest motiu que aquesta maniobra es descriurà segons aquest segon document. Cal remarcar que es tracta d'un assaig que, tot i estar citat a una normativa per a vehicles pesants, no està definit com a tal.

L'assaig comença amb el vehicle circulant en línia recta fins assolir una velocitat tal que amb la marxa més alta es garanteixi una velocitat mínima del motor de 2000 min⁻¹. Un cop arribada a aquesta velocitat s'ha d'entrar a una secció marcada amb cons que simula un doble canvi de carril com l'especificada a la Figura 3.7 i amb les característiques mencionades a la Taula 3.7. Dos metres després d'entrar a la zona d'assaig cal deixar de pitjar el pedal de l'accelerador.

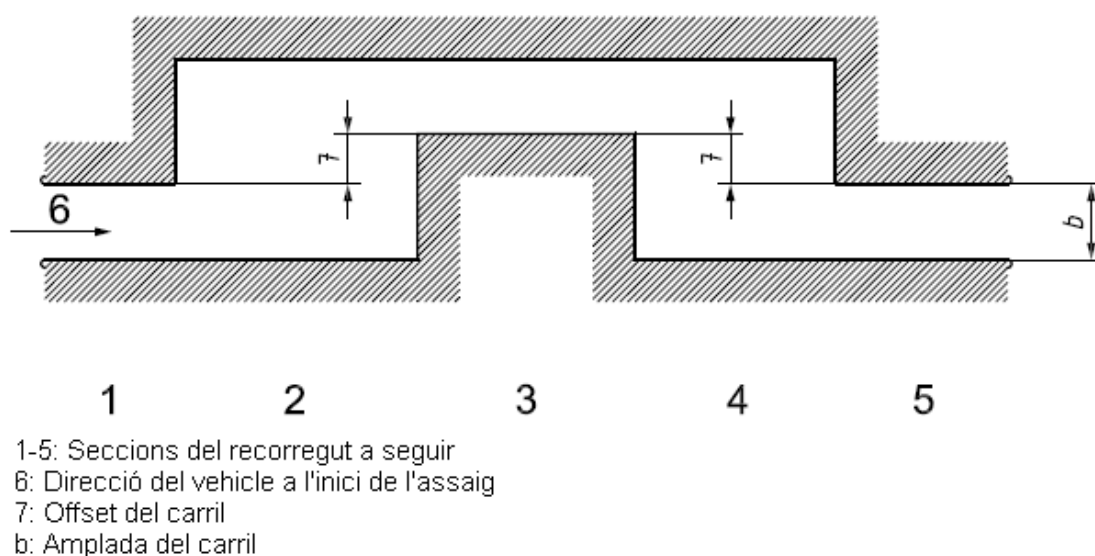


Figura 3.7. Traçat a seguir en l'assaig de doble canvi de carril [18]

Secció	Llargada [m]	Offset [m]	Amplada [m]
1	12	-	1,1 · amplada vehicle + 0,25
2	13,5	-	-
3	11	1	amplada vehicle + 1

Secció	Llargada [m]	Offset [m]	Amplada [m]
4 ^a	12,5	-	-
5	12	-	1,3 · amplada vehicle + 0,25 però no menys de 3 m
^a Per assegurar acceleracions laterals altes al final de la pista, la 4a secció és 1 m més curta que la 2a			

Taula 3.7. Característiques del traçat a seguir en l'assaig de doble canvi de carril [18]

Cal mencionar que l'estàndard no concreta sobre quin tipus de superfície ha de tenir lloc l'assaig. És per això que, per tal d'assegurar que es perd el control direccional i minimitzar el risc de bolcada, és recomanable realitzar la maniobra en una superfície de baix coeficient d'adherència.

Aquest assaig és molt senzill de realitzar i es disposa de les instal·lacions necessàries.

3.3.1.2.8. Test de gir invertit o "test de l'ham de peix"

La maniobra de gir invertit també rep el nom de test de *l'ham de peix* degut a la forma de la trajectòria que es descriu durant l'assaig i que simula la maniobra que un conductor pot fer en situació de perill per tal d'esquivar un obstacle. És un procediment que va ser desenvolupat inicialment pel fabricant Toyota, després perfeccionat per Nissan i Honda i, finalment, adoptat per la NHTSA com a maniobra per a l'assaig d'estabilitat de turismes i SUV pel què fa a la bolcada i no pas a la pèrdua d'estabilitat lateral.

L'assaig comença amb el vehicle circulant a velocitat constant i en línia recta. Seguidament, es gira el volant cap a la dreta o esquerra un angle Δ el qual:

$$\Delta = 6,5 \cdot \theta \quad (\text{Eq.3.8})$$

On θ és l'angle de gir del volant pel qual el vehicle assoleix, en estat estacionari, una acceleració lateral de $0,3 \cdot g$ (aproximadament 3 m/s^2) a 80 km/h.

Quan s'assoleix una velocitat d'angle de bolcada inferior a $0,03 \text{ rad/s}$ ($1,5 \text{ }^\circ/\text{s}$), s'ha de girar en sentit contrari fins assolir l'angle $-\Delta$. La maniobra acaba quan s'assoleix un altre cop una velocitat d'angle de bolcada inferior a $0,03 \text{ rad/s}$. Tant el primer com el segon gir s'efectuen a velocitats de $12,6 \text{ rad/s}$ ($720 \text{ }^\circ/\text{s}$).

La Figura 3.8 mostra l'evolució de l'angle de gir del volant i de la velocitat de l'angle de bolcada al llarg del temps:

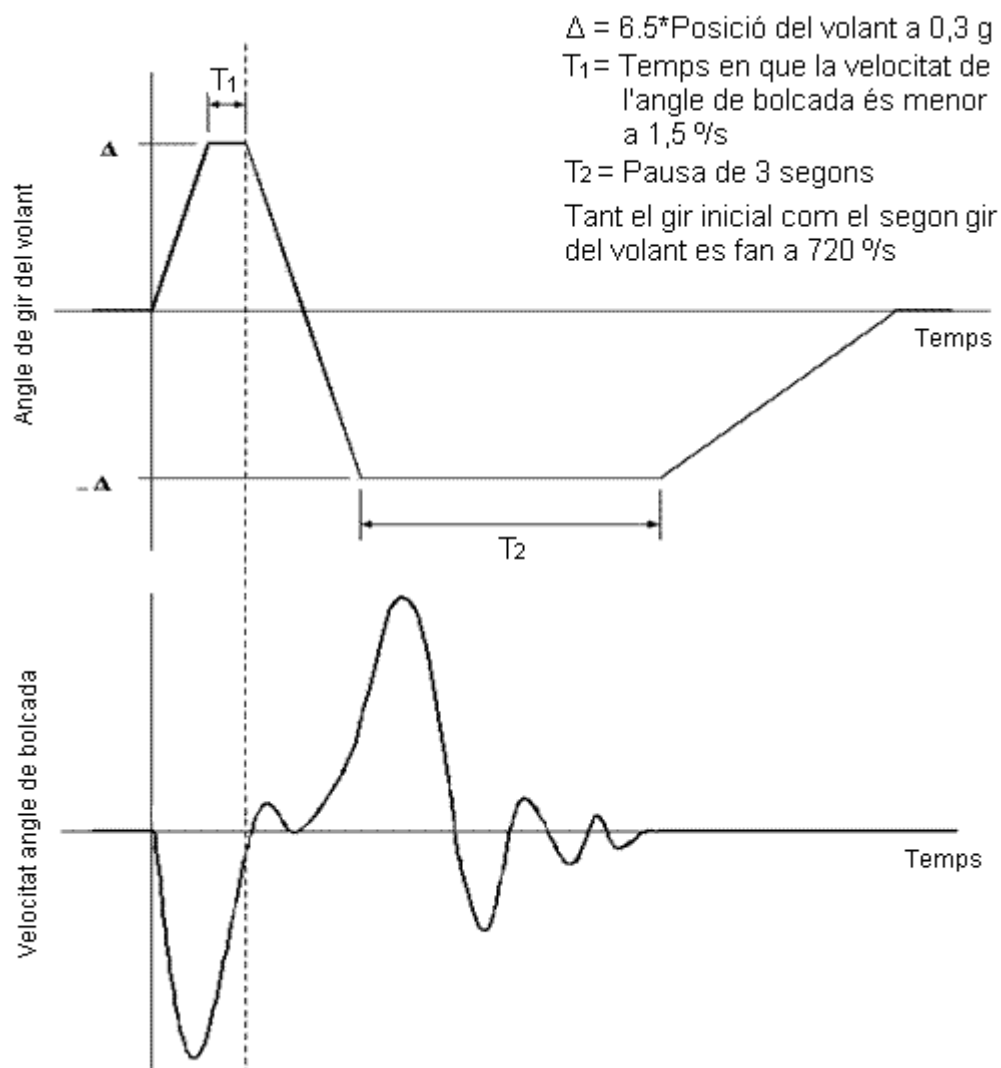


Figura 3.8. Evolució de l'angle de gir del volant i velocitat de l'angle de bolcada [19]

La velocitat a la qual s'ha de fer l'assaig es determina com a la primera igual o superior a 56 km/h per la qual el vehicle perd el contacte de les rodes interiors a la corba. Un cop trobada aquesta velocitat, s'efectuen dues rondes d'assaig més [19].

La Figura 3.9 mostra la trajectòria a seguir durant l'assaig:

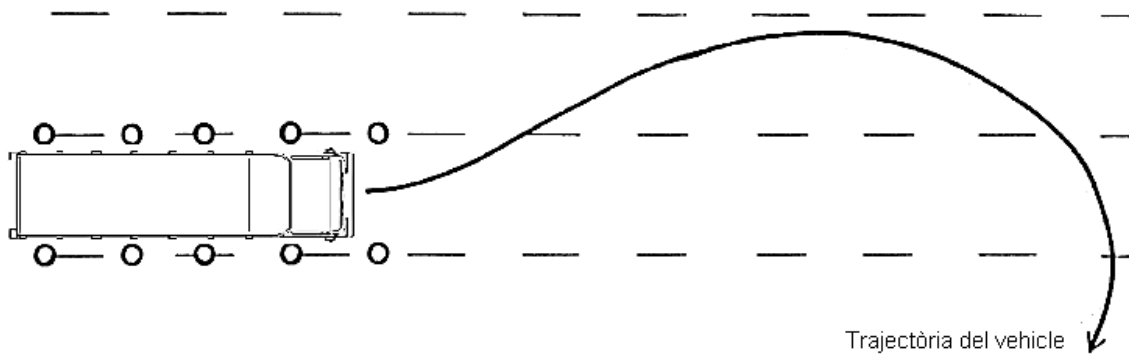


Figura 3.9. Trajectòria seguida durant l'assaig

Tot i que la R. 13-11 defineix aquesta maniobra com a possible candidata per a l'assaig de pèrdua de control direccional per a vehicles pesants, aquesta va ésser concebuda per a analitzar l'estabilitat enfront el bolcament per a vehicles lleugers. Per altra banda, també s'ha de tenir en compte que els vehicles comercials són més propensos a bolcar que a perdre l'estabilitat lateralment i per això, sembla que no és un dels tests més idonis.

En el cas que es volgués implantar aquest assaig, es disposa de tots els mitjans per dur-lo a terme.

3.4. Dispositius de seguretat necessaris per a la realització dels assajos

Tal i com s'ha comentat amb anterioritat, les maniobres d'assaig per a l'homologació de l'ESC comporten posar el vehicle al límit de la seva estabilitat i, per tant, es tracta d'assajos perillosos. Per motius de seguretat cal comptar amb dispositius com el casc, el cinturó i els outriggers per a garantir la integritat física dels conductors que realitzen la prova.

Outrigger és la paraula anglesa que, en l'àmbit automobilístic, fa referència a dos termes diferents:

- Suports externs que porten certs vehicles industrials amb l'objectiu d'augmentar-ne l'estabilitat quan estan estacionats i treballen amb grans masses suspeses que poden fer bolcar el vehicle.



Figura 3.10. Outriggers per a treball estàtic

- Suports externs per a evitar la bolcada de vehicles quan aquests s'assagen per a comprovar-ne la seva estabilitat. La característica principal d'aquest tipus d'outriggers és que tenen element rodant o lliscant en el seu extrem.



Figures 3.11 i 3.12. Diferents tipus d'outriggers per a l'assaig dinàmic de vehicles

Actualment hi ha dispositius universals per a l'assaig de vehicles de les categories M_1 , N_1 , M_2 i N_2 i O però cap dispositiu especialment dissenyat per a l'assaig de vehicles de la categoria N_3 . Certament, els fabricants de vehicles N_3 creen els seus propis outriggers per a les fases de desenvolupament però la problemàtica sorgeix quan es porten els vehicles a assajar a les instal·lacions dels serveis tècnics. En el cas dels fabricants, en ocasions es presenten problemes logístics i no és possible instal·lar els outriggers originals, i en el cas dels particulars, no disposen d'outriggers propis. Així doncs, a continuació es presenta el disseny d'uns outriggers ideats per a adaptar-se a una àmplia gamma de vehicles per poder dur a terme els assajos d'ESC a les instal·lacions del servei tècnic.

4. Disseny d'outriggers per als assajos de sistemes de control d'estabilitat

Seguidament es mostren les condicions i els aspectes bàsics que s'han seguit a l'hora de dissenyar el sistema, així com el disseny resultant, els assajos duts a terme mitjançant el mètode d'elements finits, els seus resultats i la seva validació.

4.1. Condicions de disseny

Les sol·licitacions a les que estan sotmesos els outriggers s'han obtingut de manera experimental mitjançant acceleròmetres, sensors de gir, GPS i cèl·lules de càrrega instal·lades als outriggers d'un conjunt de camió més tràiler de 36,3 tones.

Les maniobres de gir en forma de J, test circular en estat estacionari i de doble canvi de carril es consideren les més representatives ja que són aquelles que més s'assemblen a maniobres reals. Per aquest motiu, són les que s'han agafat com a referència a l'hora de calcular les sol·licitacions a les que estaran sotmesos els outriggers:

Maniobra	Velocitat [km/h]	Força al punt de contacte [kg]	Velocitat de bolcada [°/s]
Radi constant 45 m	48	1064	6,15
Radi constant 45 m	49	1261	6,93
Radi constant 45 m	50	2479	8,55
Gir en J radi 45m	52	2269	8,68
Gir en J radi 45m	52	2060	9,57
Gir en J radi 45m	52	1833	9,64
Doble canvi de carril	79	3891	18,90
Doble canvi de carril	80	4573	20,20

Taula 4.1. Sol·licitacions per a diferents tipus d'assaig. Font [20]

Tenint el compte el context en el qual es desenvolupa el projecte s'ha proposat dissenyar uns outriggers per a vehicles de categoria N₃ amb una massa màxima de 25 tones (límit de massa màxima per a la incorporació de l'ESC segons la normativa). Per això, i interpolant les dades presentades anteriorment, s'aplicarà una càrrega a l'extrem de l'outrigger de 3440 kg.

Per tal d'assegurar que els outriggers aguanten els esforços als quals estaran sotmesos, i tenint en compte que les condicions d'assaig poden exigir sol·licitacions lleugerament superiors de les previstes es considera un coeficient de seguretat de 1,5.

4.2. Disseny proposat

Tot seguit es presenta el disseny del conjunt així com una breu explicació dels elements que el formen. Els materials de les diferents peces s'han escollit per tal de garantir la solidesa estructural intentant minimitzar-ne la massa. D'altra banda, s'han seleccionat materials d'ús comú en la indústria per tal d'assegurar un cost raonable a l'hora de construir-lo i de mantenir-lo.

Els plànols de cada peça s'adjunten en l'Annex B del projecte.

4.2.1. Disseny del conjunt

Els outriggers que s'han dissenyat consten bàsicament de 3 parts: Dos braços, un punt mòbil per a ajustar la inclinació dels braços i dues rodes. A la Figura 4.1 es pot veure un dels outriggers muntat sobre el llarguer d'un camió.

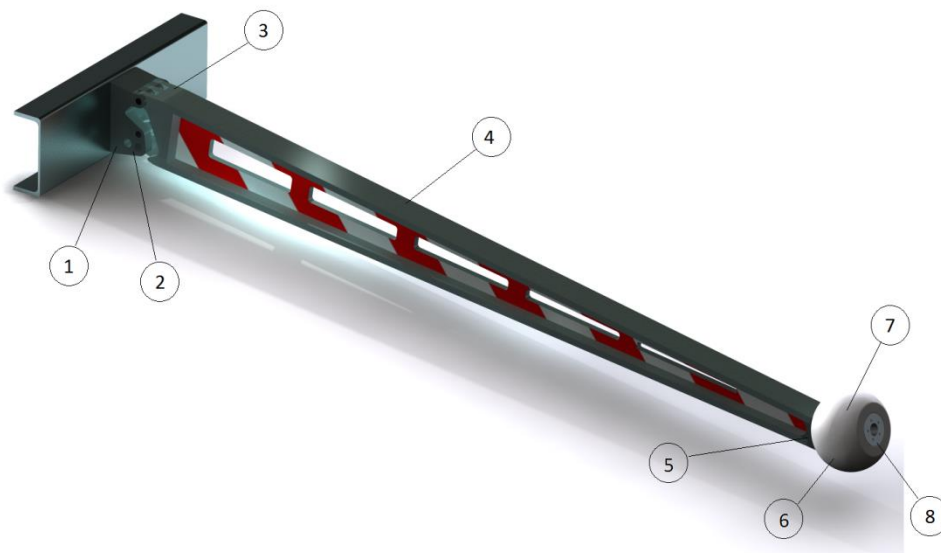


Figura 4.1. Imatge renderitzada d'un dels outriggers dissenyats

En la Taula 4.2 s'adjunta un llistat de les peces que formen cada outrigger. La taula s'ordena segons la numeració de la Figura 4.1. i de cada peça se n'especifica el material.

Numeració	Nom de la peça	Material
1	Suport mòbil	Acer AISI 1045
2	Passadors	Acer AISI 1045
3	Ancoratge mòbil	Alumini 7075
4	Braç	Alumini 7075
5	Suport inclinat	Alumini 7075
6	Roda	HDPE
7	Eix	Alumini 7075
8	Tapa	Alumini 7075

Taula 4.2. Llistat de peces que formen cada outrigger

4.2.2. Punts d'ancoratge mòbils

Aquests elements tenen una utilitat doble. Serveixen per subjectar els braços al bastidor i per ajustar l'alçada al terra dels outriggers. Aquesta segona característica és essencial per a que el sistema es pugui adaptar a diferents vehicles amb diferents alçades i a diferents nivells d'exigència dels assajos.

Mitjançant passadors d'acer AISI 1045, els diferents orificis laterals permeten fixar els braços en diferents posicions ajustant l'angle amb el qual es desitja fer l'assaig.

El punt d'ancoratge està format per dues peces. La primera, mostrada a la Figura 4.2, és una peça d'alumini 7075 mecanitzada que va soldada a l'extrem del braç que consta de tres orificis per a l'ajustament de l'angle durant l'assaig i un eix pel qual pivota.

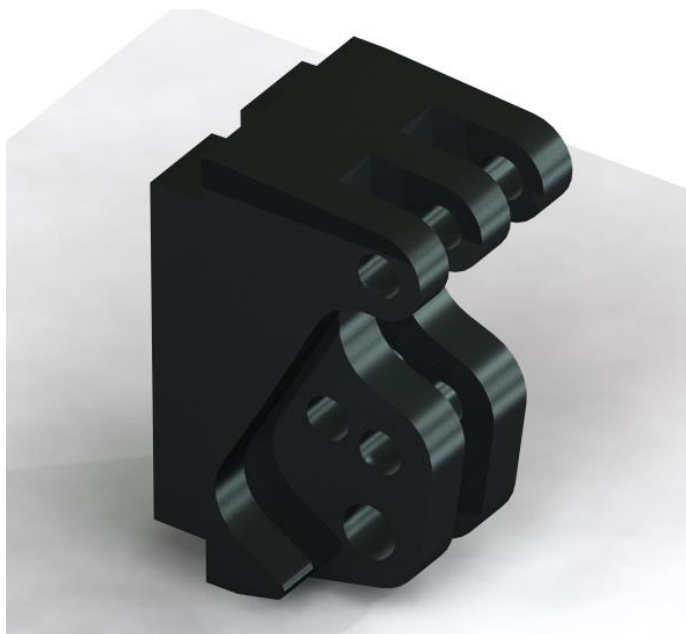


Figura 4.2. Ancoratge mòbil del braç

L'altra peça que forma part de l'ancoratge dels outriggers (Figura 4.3) és un suport d'acer AISI 1045 mecanitzat que va unit a la peça anterior amb els passadors i al llarguer del vehicle mitjançant 4 unions cargolades.

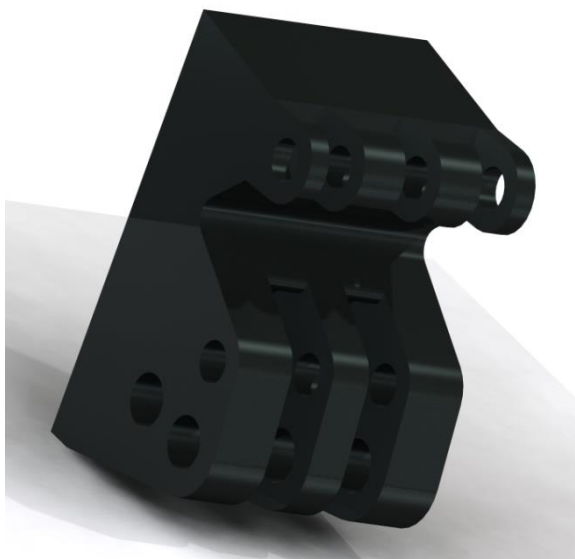


Figura 4.3. Suport mòbil del llarguer

El conjunt de suport i ancoratge units solament pel passador de pivotatge permeten plegar cap amunt els braços per així poder maniobrar amb més comoditat el vehicle mentre no es duen a terme els assajos.

4.2.3. Braços

Els braços, formats per tres planxes d'alumini 7075 soldades, tenen un perfil en forma de "I" de secció variable (més amples i alts en la base i més estrets i baixos a l'extrem) per tal d'intentar reduir al màxim la inèrcia del conjunt.

Com s'ha comentat amb anterioritat, és important modificar el mínim la distribució de masses del vehicle per tal d'afectar al mínim el comportament dinàmic del vehicle. Així doncs, uns outriggers que acumulin molta massa a les puntes poden arribar a fer que el comportament del vehicle, i concretament de l'ESC, no siguin representatius de la realitat; aquest és el motiu pel qual s'ha optat per una secció variable i per conformar-los mitjançant la unió soldada de 3 planxes d'alumini. Per altra banda, com es pot veure a la Figura 4.4, s'han fet uns orificis al llarg del nervi del perfil per alleugerir la peça.

El fet que a l'hora de dissenyar els braços s'hagi triat un perfil en forma de "I" rau en que aquests tipus de perfils tenen un bon comportament en càrregues verticals.



Figura 4.4. Braç

Per tal d'assegurar que el dispositiu dissenyat és suficientment visible s'ha inclòs pintura blanca i vermella al llarg de tot el braç.

4.2.4. Rodes

Tot i que és un dels elements més senzills pel què fa al disseny, les rodes (Figura 4.5) són una peça clau per entendre el conjunt.

Primerament cal presentar els antecedents en allò referent als punts de recolzament dels outriggers. Com mostren les figures 3.11 i 3.12, a l'hora de dissenyar-los, la indústria ha enfocat de manera diferent segons si es tractava d'un vehicle lleuger o pesat. Habitualment, per als vehicles de les categories M_1 , N_1 i alguns M_2 i N_2 de massa baixa s'ha optat per instal·lar unes pastilles de fricció de polietilè d'alta densitat (HDPE) i, per a vehicles més pesats de les categories M_2 , N_2 i M_3 , N_3 , O_3 i O_4 s'han emprat rodes (llanta més pneumàtic).

Les pastilles de fricció tenen l'avantatge que són molt lleugeres però com a contrapartida, al lliscar sobre l'asfalt, transmeten una torsió al sistema i alhora es desgasten. Per altra banda el conjunt llanta i roda és molt pesat (cal recordar que posar molta massa a la punta de l'outrigger comporta una inèrcia del conjunt força elevada, cosa que cal evitar) però té l'avantatge que, al rodar sobre l'asfalt, tan sols transmet esforços verticals als braços.

Així doncs, per al disseny que es presenta s'ha triat una solució híbrida: rodes de HDPE.

Les rodes de HDPE són lleugeres i, pel fet de ser una roda, transmeten només esforços verticals quan entren en contacte amb l'asfalt. Això fa que es pugui plantejar un disseny dels braços amb una estructura que agunti tan sols aquest tipus d'esforços i, com a conseqüència es pugui estalviar material (per tant, massa) reduint així la inèrcia del conjunt.

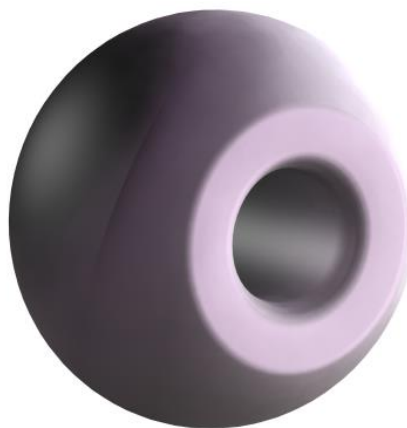


Figura 4.5. Roda d'HDPE

La roda gira sobre un eix (Figura 4.6) que té una tapa (Figura 4.7) desmuntable per facilitar el recanvi de la roda quan aquesta estigui desgastada. Aquestes dues peces són d'alumini 7075. Com es pot observar, l'eix no incorpora coixinets per a la roda. Això rau en el fet que el sistema està pensat per que la roda faci un contacte puntual i no per que vagi rodant durant un llarg període temps.

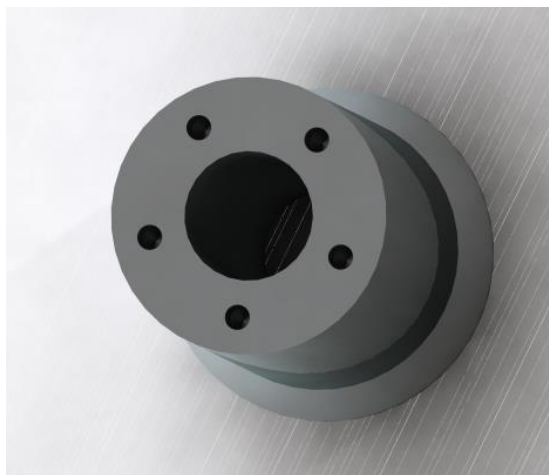


Figura 4.6. Eix

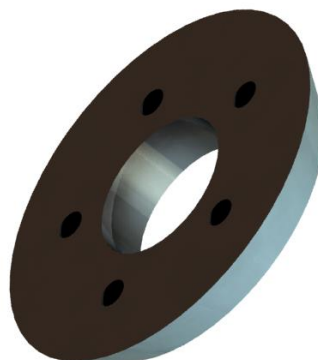


Figura 4.7. Tapa

Finalment, l'eix de la roda es situa soldat sobre un suport d'alumini unit al braç (Figura 4.8) que permet que la roda toqui perpendicularment al terra quan el camió s'inclini durant les maniobres.

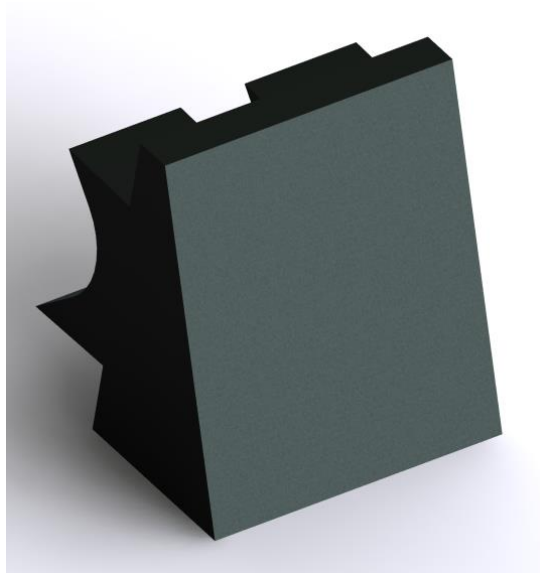


Figura 4.8. Suport inclinat

5. Simulació i validació del disseny

5.1.1. Metodologia

El procés de disseny s'ha dut a terme mitjançant *SolidWorks* juntament amb el paquet de simulació per mètode d'elements finits (MEF) *COSMOSWorks*. Així doncs, s'ha dissenyat el conjunt un cop conegudes les sol·licitacions a les quals està sotmès i tenint en compte els diferents requisits de disseny (factor de seguretat, massa, etc.).

Un cop dissenyades les peces s'han efectuat simulacions per comprovar-ne la seva resistència i comportament enfront els esforços aplicats. Amb els resultats obtinguts, s'han anat modificant aquelles parts més crítiques fins que, després de varies simulacions, s'ha arribat al disseny definitiu.

5.1.2. Característiques de la simulació

Per validar el disseny, s'ha aplicat a l'extrem del braç una força de 33750 N (3440 kg) i s'ha imposat que el suport mòbil vagi ancorat, mitjançant les unions cargolades, al llarguer d'un camió.

Pel que fa al mallat del conjunt, s'ha anat refinant el model posant especial atenció a aquelles zones en que els resultats eren més crítics. El mallat resultant, tant de la roda com de la resta del conjunt, es mostra a les figures Figura 5.1 i Figura 5.2 respectivament:

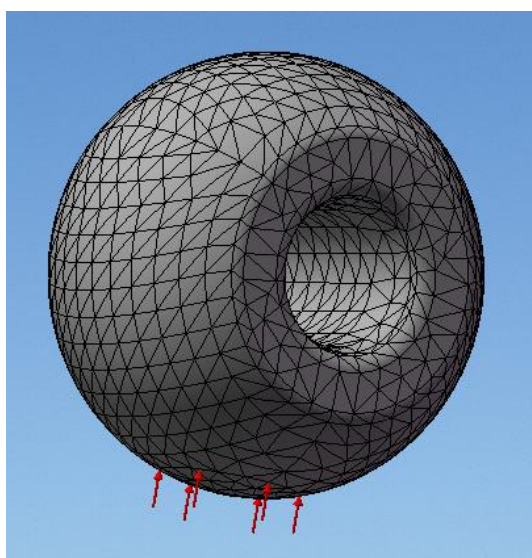


Figura 5.1. Mallat de la roda

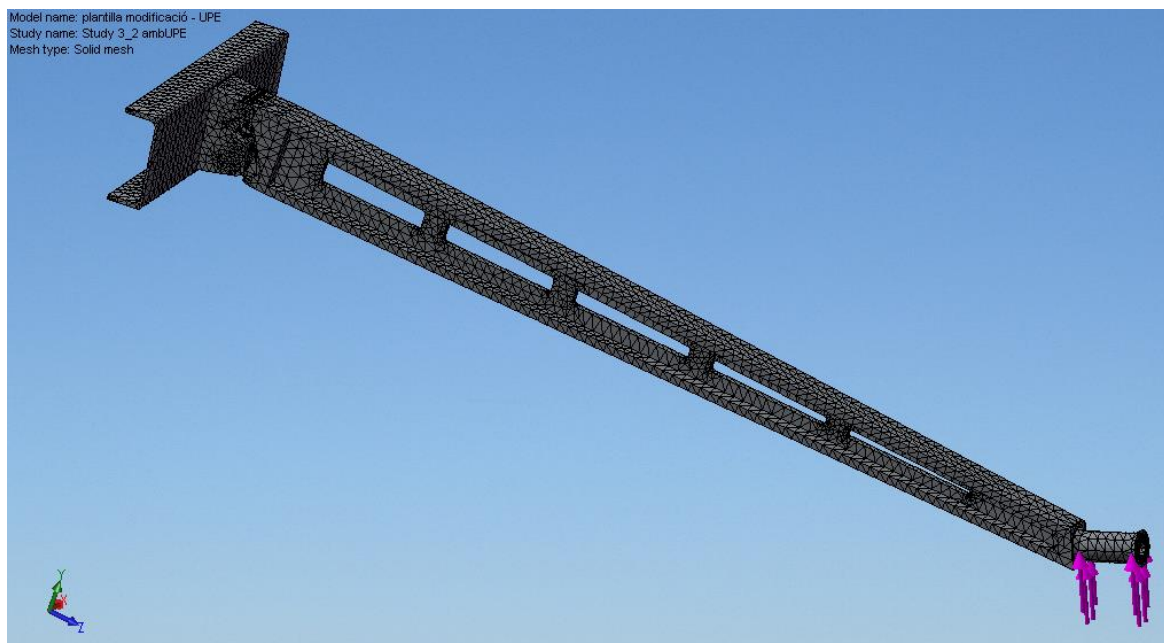


Figura 5.2. Mallat del conjunt

5.1.3. Resultats de la simulació

Tot seguit es presenten les figures de deformació, tensió i deformació unitària extretes de la simulació

- Deformació en mm

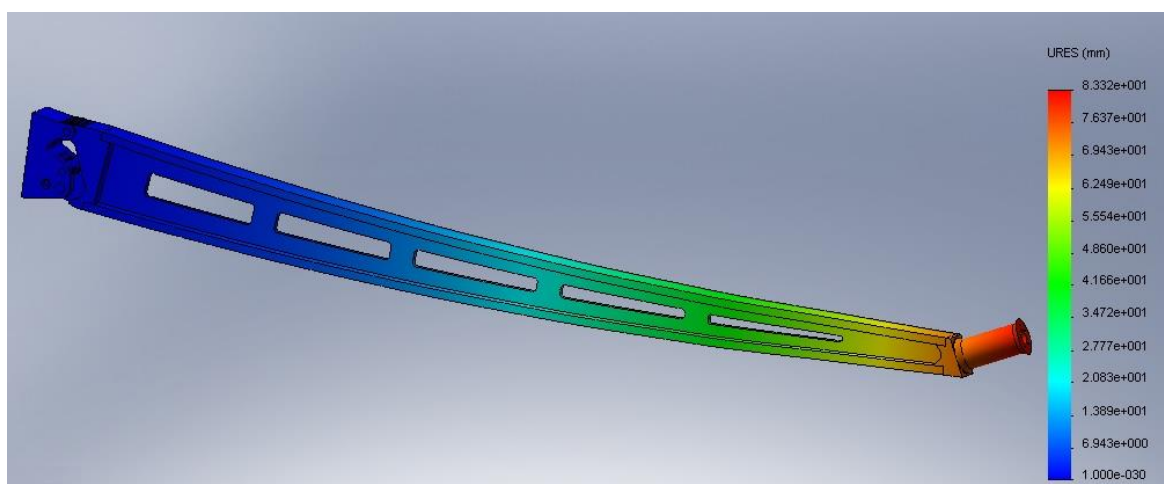


Figura 5.3. Deformació resultant

Com es pot veure a la Figura 5.3 el major desplaçament es produeix a l'extrem del braç a on s'aplica la força, i té un valor de 8,3 cm

- Tensió

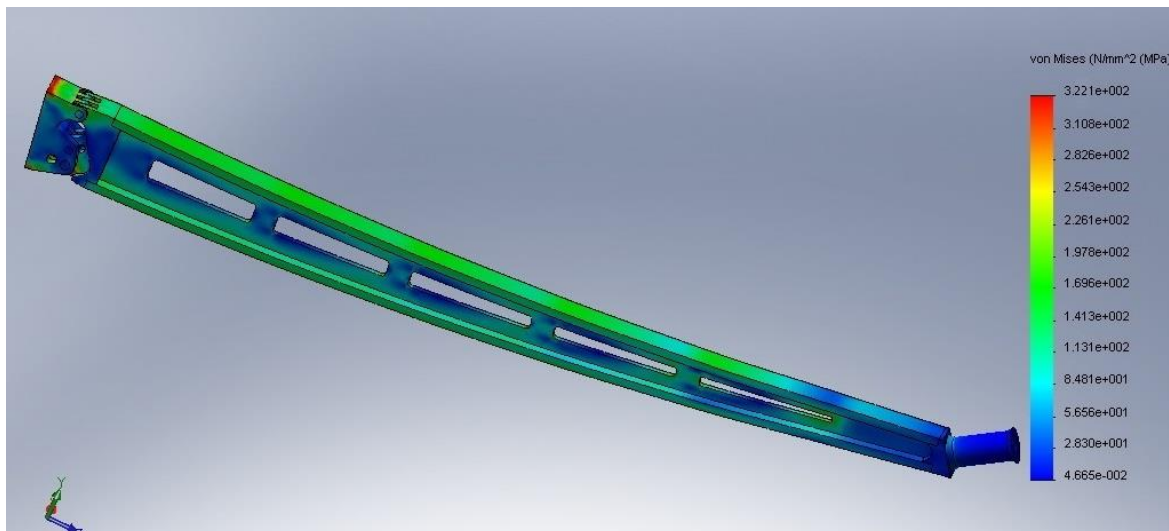


Figura 5.4. Tensió resultant

Com es pot observar a la Figura 5.4 les tensions màximes es concentren a la zona del suport mòbil i l'ancoratge mòbil, sent el valor màxim d'aquesta tensió de $3,22 \cdot 10^2$ MPa

- Deformació unitària

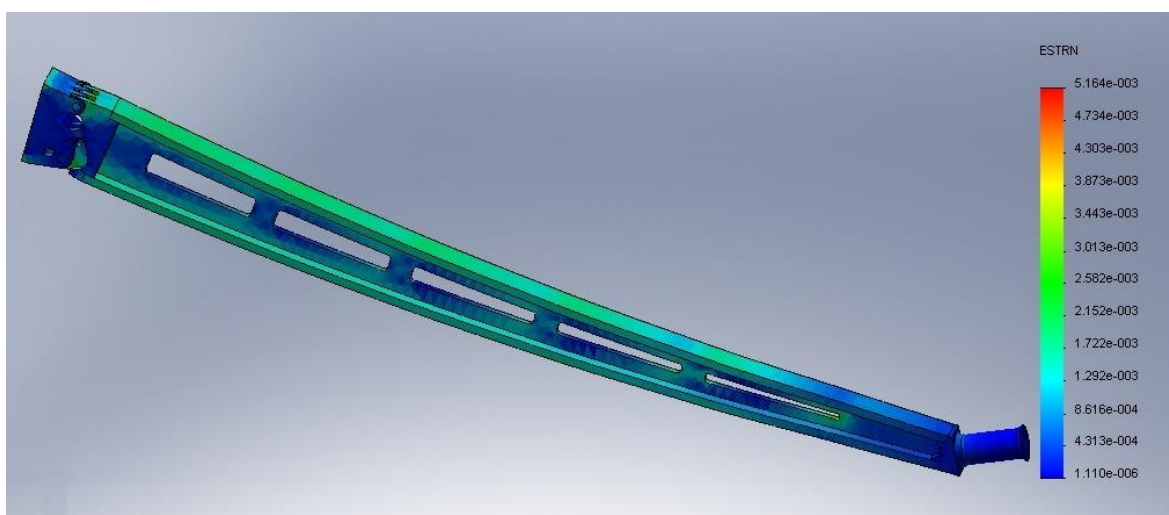


Figura 5.5. Deformació unitària

Una altra vegada, les deformacions unitàries màximes es concentren a la zona del suport mòbil i l'ancoratge mòbil, arribant a un valor màxim d'aquesta tensió de $5,16 \cdot 10^{-3}$ (Figura 5.5).

5.2. Validació del disseny

Un cop vistos els resultats de la simulació es valida el model mirant el mínim factor de seguretat de tot el conjunt. Tot seguit, es presenta la distribució del factor de seguretat a la Figura 5.6.

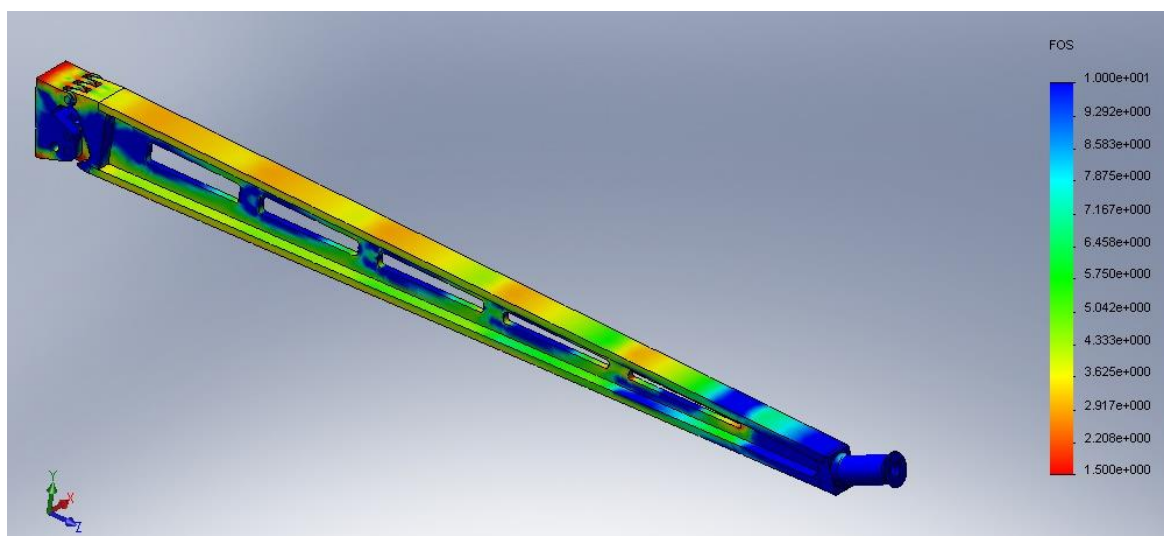


Figura 5.6. Distribució del factor de seguretat d'un dels outriggers

Analitzant la figura anterior s'intueix que la zona més crítica és la unió mòbil entre el suport mòbil del llarguer i l'ancoratge mòbil del braç.

A les figures Figura 5.7 i Figura 5.8 es mostra en detall la distribució del factor de seguretat per les peces més crítiques.

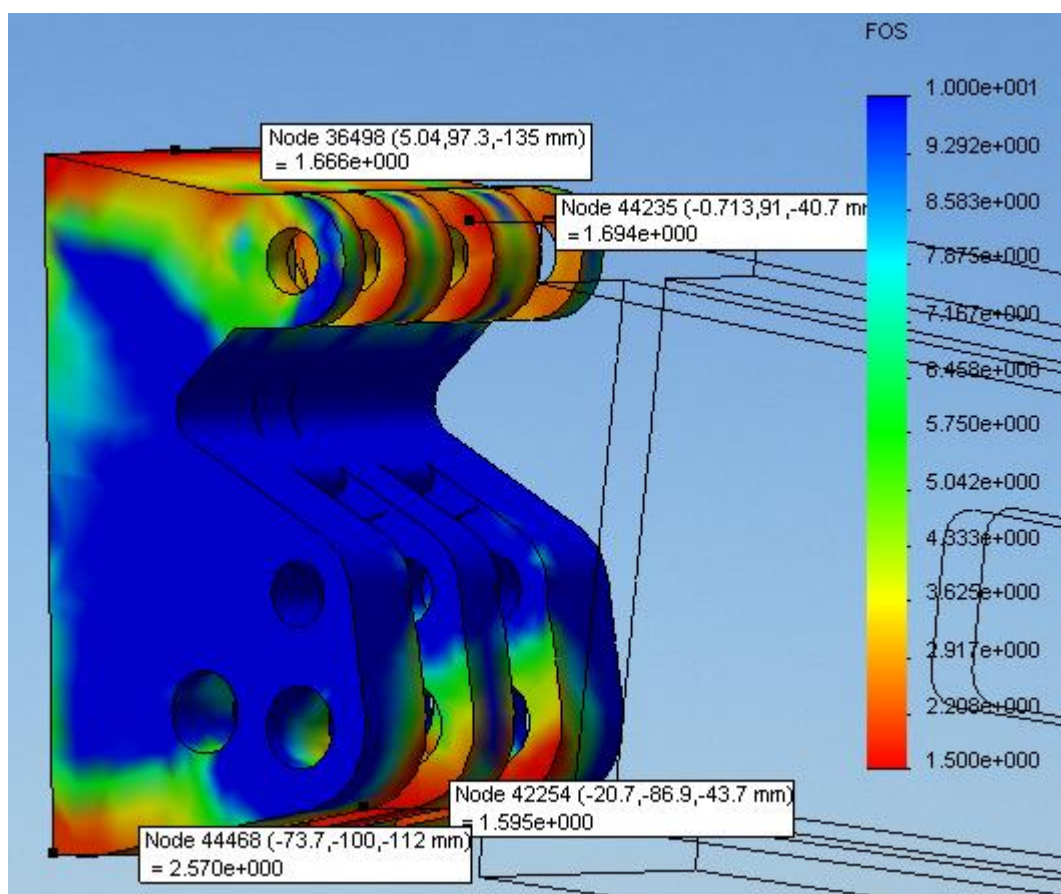


Figura 5.7. Detall de la distribució del factor de seguretat al suport mòbil

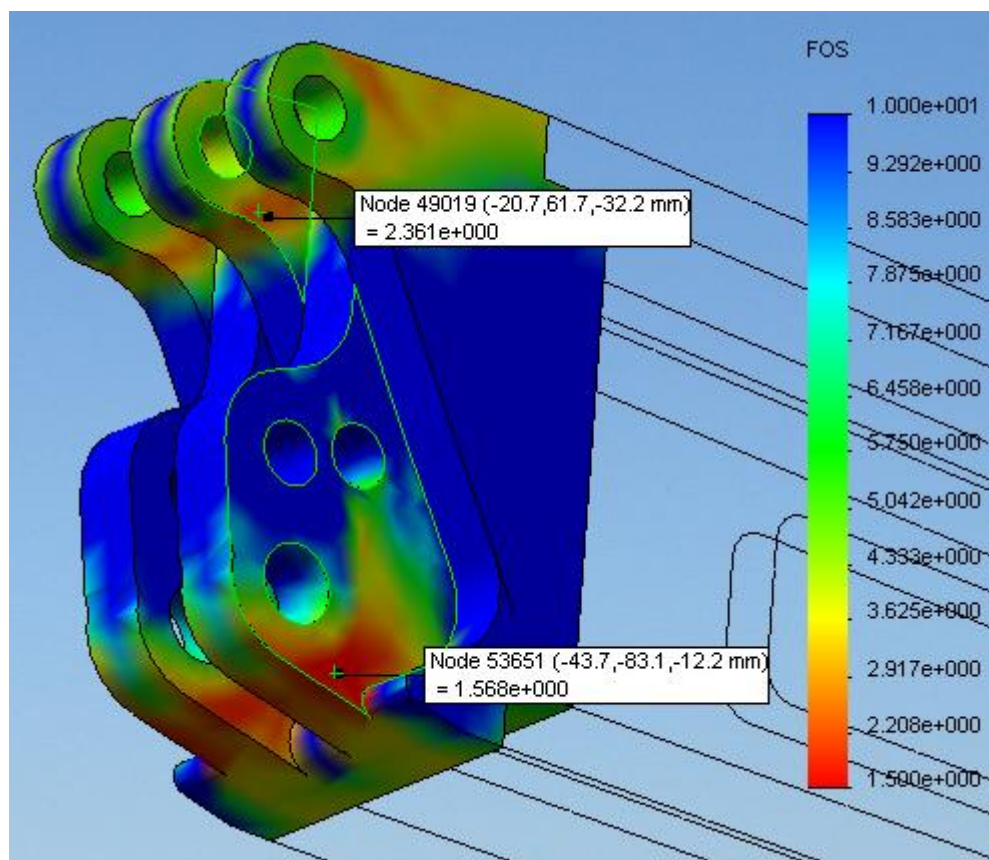


Figura 5.8. Detall de la distribució del factor de seguretat a l'ancoratge mòbil

Observant la Figura 5.8 es veu clarament que el punt en què el factor de seguretat és més baix és on s'uneixen el suport mòbil i l'ancoratge mòbil, concretament en la zona de l'ancoratge mòbil propera als forats per on passa el passador que subjecta les dues peces. El valor d'aquest factor de seguretat és de 1,568, sent aquest valor el més baix de tot el conjunt.

Tenint en compte que a l'hora de dissenyar l'element s'ha imposat un factor de seguretat mínim de 1,5 i que el valor mínim de la simulació és de 1,568, el model queda validat.

6. Anàlisi econòmica

6.1. Cost aproximat dels outriggers

El cost aproximat dels outriggers s'ha calculat tenint en compte el preu a la venda del material de cada peça i fent una estimació del què pot costar de la fabricació dels outriggers es detalla a la Taula 6.1:

Nom de la peça	Cost del material [€]	Cost conformació [€]	Total [€]
Suport mòbil	25	3000	3025
Passadors	6	100	106
Ancoratge mòbil	45	4000	4045
Braç	960	700	1660
Suport inclinat	5	400	405
Roda	10	400	410
Eix	10	600	610
Tapa	5	400	405
TOTAL			10666

Taula 6.1. Cost aproximat de fabricació dels outriggers

6.2. Cost de creació del projecte

6.2.1. Consideracions prèvies

Aquest projecte s'ha dut a terme en el marc d'un conveni de col·laboració entre la universitat i una empresa, fet que implica un salari per a l'estudiant de 12 €/h.

Les tutories han estat dutes a terme pel director del projecte i pel tutor de l'empresa, dels quals el valor de les hores dedicades s'estimen en 70 €/h i 90 €/h respectivament.

La formació ha estat donada per part d'enginyers sènior del departament de vehicle industrial de l'empresa amb un salari de 70 €/h.

En els diferents costos s'han inclòs totes les hores de treball dedicades exclusivament al desenvolupament d'aquest projecte.

6.2.2. Cost de formació

Com a costos de formació s'inclouen els següents aspectes

- **Formació en conceptes d'homologació (32h):**

Durant un període de 4 dies es van dur a terme unes jornades de formació per als estudiants en pràctiques en les que experts en cada camp de l'homologació van fer presentacions i explicacions sobre el concepte de l'homologació i els seus derivats en la presència d'experts en cada camp de l'homologació de vehicle industrial.

- **Formació en conceptes d'assajos d'estabilitat i frenada de vehicles industrials:**

S'han realitzat viatges per a fer assajos i s'ha assistit a conferències a fi i efecte d'aprofundir en el concepte d'homologació de vehicle industrial en allò referent a l'estabilitat i la frenada. El cost d'aquests conceptes està desglossat a la Taula 6.2.

- **Formació en prevenció de riscos laborals (5h):**

A l'empresa on s'ha realitzat el projecte es permet que els estudiants en pràctiques assisteixin als diferents assajos que es duen a terme. Per aquesta raó s'ha rebut un curs de formació en riscos laborals i s'ha entregat un Equip de Protecció Individual (EPI) bàsic (roba de treball, sabates de seguretat i guants).

El cost total de la formació rebuda ha estat de 15506 € (Taula 6.2)

Concepte	Temps [h]	Preu [€/h]	Cost [€]	Total [€]
Formació en conceptes d'homologació				2624
Enginyer sènior	32	70	2240	
Estudiant	32	12	384	
Formació assajos estabilitat i frenada				12322
<i>Viatge a Japó homologació ESC</i>				
Desplaçament			2600	
Enginyer sènior	96	70	6720	
Estudiant	96	12	1152	
Estada			1850	
Formació riscos laborals				560
Enginyer sènior	5	70	350	
Estudiant	5	12	60	
Equips de protecció individual			150	
TOTAL				15506

Taula 6.2. Resum dels costos de formació per a la realització del projecte

6.2.3. Cost del material d'oficina

En aquest apartat s'han inclòs els costs del material que s'ha hagut d'adquirir per poder realitzar aquest projecte. El cost del material, desglossat a la Taula 6.3, és de 1160 €.

Concepte	Temps [h]	Preu [€/h]	Cost [€]	Total [€]
Ordinador	---	---	1000	
Material fungible	---	---	75	
Impressora	---	---	85	
TOTAL				1160

Taula 6.3. Resum dels costs de material per a la realització del projecte

6.2.4. Cost de creació del projecte

Pel què fa al cost de desenvolupament del projecte, s'ha tingut en compte el temps que s'ha empleat per a la cerca d'informació i l'estudi d'aquesta, redacció del projecte, realització dels procediments d'assaig de les diferents maniobres, així com el temps dedicat al disseny i validació dels outriggers. Per altra banda, també s'inclou el cost de les dues impressions de la present memòria i una dels annexes, les encuadernacions, el cost dels CD, la carpeta i les etiquetes. El cost de creació ha estat de 6603 € (Taula 6.4).

Concepte	Temps [h]	Preu [€/h]	Cost [€]	Total [€]
Desenvolupament				6480
Cerca d'informació	50	12	600	
Lectura i resum de normatives	100	12	1200	
Redacció del projecte	125	12	1500	
Redacció dels procediments d'assaig	60	12	720	
Disseny dels outriggers	65	12	780	
Validació dels outriggers	40	12	480	
Llicències del software	---	---	1200	
Material				123
Impressions	---	---	95	
CDs	---	---	3	
Encuadernacions	---	---	18	
Etiquetes	---	---	7	
TOTAL				6603

Taula 6.4. Resum dels costs de desenvolupament del projecte

6.2.5. Cost de les tutories

Aquest cost inclou totes les sessions de seguiment per part del director del projecte com del tutor de l'empresa. El cost de les tutories, desglossat a la Taula 6.5 ha estat de 1740 €.

Concepte	Temps [h]	Preu [€/h]	Cost [€]	Total [€]
Tutories director del projecte	12	70	840	
Tutories tutor de l'empresa	10	90	900	
TOTAL				1740

Taula 6.5. Resum dels costs de les tutories

6.2.6. Cost total

Finalment, un cop desglossats els diferents costos que se'n deriven d'aquest projecte, s'adjunta la Taula 6.6 amb el cost total.

El cost total del projecte ha estat de 25009 €.

Concepte	Cost [€]
Cost de formació	15506
Cost del material d'oficina	1160
Cost de creació del projecte	6603
Cost de les tutories	1740
TOTAL	25009

Taula 6.6. Cost total del projecte desglossat

7. Anàlisi de l'impacte ambiental

El disseny dels outriggers presentats ha estat orientat a la reciclabilitat un cop acabada la seva vida útil ja que s'han escollit materials d'ús comú a la indústria que permeten ser reciclats.

Pel que fa a la sostenibilitat del projecte presentat, el fet de poder homologar l'ESC dels vehicles industrials utilitzant tant les instruccions de treball, com els outriggers dissenyats, permetrà reduir el nombre d'accidents a les carreteres i, per tant, el nombre de víctimes.

Per altra banda, en allò referent a la realització d'aquest projecte, la majoria de documents que s'han consultat per poder realitzar aquest estudi s'han visualitzat mitjançant format digital reduint al màxim possible la despesa de paper. Per altra banda, totes les impressions s'han efectuat a doble cara i sobre paper reciclat, i aquells documents que ja no eren útils s'han llençat en un contenidor de reciclatge.

Pel que fa al consum de tòner, un cop esgotat s'ha deixat en un contenidor especial gestionat per una empresa especialitzada en el tractament d'aquest tipus de residus. Tanmateix, l'empresa en la que s'ha desenvolupat el projecte compta amb la certificació segons la norma ISO 14000, la qual estableix un sistema de gestió mediambiental i dels residus generats per l'activitat habitual de l'empresa, a part de comptar amb instal·lacions i personal qualificat per tractar-los.

En relació al consum elèctric, aquest s'ha minimitzat utilitzant bombetes i fluorescents de baix consum així com apagant i desendollant els ordinadors un cop acabada la jornada laboral.

Si es mira de cara a la futura implementació de la normativa, s'ha de tenir en compte l'impacte ambiental que té el fet de realitzar els assajos, durant els quals es produeixen diversos residus: combustibles, lubricants, pneumàtics desgastats que queden inservibles, etc. També cal esmentar les emissions contaminants que es generen ja que les maniobres és realitzen amb el motor en marxa. Així doncs, cal reduir tant com sigui possible totes les emissions que es produeixen durant les proves.

Conclusions

El procés d'homologació d'un vehicle industrial requereix actualment de l'homologació de l'ESC. Aquesta és una novetat que ajudarà a reduir els accidents i, per tant, és essencial tenir els coneixements per fer els assajos estipulats a la reglamentació vigent.

Tot i que els assajos es fan en un ambient controlat (pistes de proves), és imprescindible tenir elements de seguretat bàsics per protegir tant el conductor que està realitzant les maniobres com el vehicle en si. Els outriggers dissenyats són doncs un element que permetrà dur a terme els assajos de manera segura, ja que s'ha validat el seu comportament enfront a les sol·licitacions a les que es veuran sotmesos durant els assajos.

Agraïments

Primer de tot vull agrair al meu tutor del projecte, en David Gallegos, i al meu tutor de l'empresa, l'Ignacio Lafuente, no tan sols l'ajuda amb el projecte sinó també per haver-me brindat l'oportunitat d'entrar al mercat laboral.

Als meus companys del departament d'homologacions pels seus consells, coneixements i suport en diverses fases del projecte.

A tots els meus amics tant de l'escola com de la universitat per haver tingut paciència amb mi durant tots els anys que ha durat la carrera.

A tota la meva família, però en especial a la meva mare, la Carme, i a la meva germana Elisabet per tot els esforços que han fet per mi, pel seu suport incondicional, per haver cregut en mi i per estar al meu costat sempre però, sobretot, quan més ho he necessitat.

També vull donar les gràcies al Quim que, tot i que no n'és conscient, m'ha ajudat molt.

Finalment a l'Asun, per donar-me l'alegria i la força per tirar endavant cada dia i per convertir les ombres en llums.

A tots ells, moltes gràcies.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] HOUSE OF COMMONS. *European Scrutiny Committee. Sixth report of session 2010-11*, p. 34-37.
- [2] ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE. *World Forum for Harmonization of vehicle regulations (WP 29). How it works. How to join it*. United Nations, 2002, p. 5-25.
- [3] ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE. *Directive 2007/46/EC of the European Parliament of September 5, 2007 establishing a framework for the approval of motor vehicles and their trailers and of Systems, components and separate technical units intended for such vehicles*. InterRegs Ltd, 2013, p. 6-9.
- [4] ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE. *Status of United Nations Regulation ECE 13-11. Uniform provisions concerning the approval of: vehicles of categories M, N and O with regard to braking*. InterRegs Ltd, 2013.
- [5] ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE. *Status of United Nations Regulation ECE 107-05. Uniform provisions concerning the approval of: category M₂ or M₃ vehicles with regard to their general construction*. InterRegs Ltd, 2013, p. 39-41.
- [6] ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE. *Regulation No. 111: Uniform provisions concerning the approval of tank vehicles of categories N and O with regard to rollover stability*. United Nations, 2010.
- [7] EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL. *Regulation (EC) No 661/2009 of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 concerning type-approval requirements for the general safety of motor vehicles, their trailers and systems, components and separate technical units intended therefor*. European Commission. 2009.
- [8] EUROPEAN COMISSION. *WHITE PAPER. European transport policy for 2010: time to decide*. European Communities, Luxembourg 2000.
- [9] EUROPEAN COMISSION. Road safety statistics.

[<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=0&pcode=tsdtr420&language=en>, 11 d'abril de 2013]

[10] DANG, J. *Statistical Analysis of the Effectiveness of Electronic Stability Control (ESC) Systems*. U.S. Department of Transportation, Washington D.C. 2006.

[11] DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO. *Las principales cifras de la Siniestralidad Vial - España 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011*. Ministerio del Interior. Madrid.

[12] PAPE, D.B., HARBACK, K., MCMILLAN, N., GREENBERG, A., MAYFIELD, H., and CHITWOOD, J.C. *Cargo Tank Roll Stability Study. Final Report*. U.S. Department of Transportation, Washington D.C. 2007.

[13] INTERNATIONAL ORGANIZATION for STANDARDIZATION. *ISO 11026:2010 Heavy commercial vehicles and buses – Test method for roll stability – Closing-curve test*. ISO 2010.

[14] INTERNATIONAL ORGANIZATION for STANDARDIZATION. *ISO 14792:2011 Road vehicles – Heavy commercial vehicles and buses – Steady-state circular tests*. ISO 2011.

[15] INTERNATIONAL ORGANIZATION for STANDARDIZATION. *ISO 14793:2011 Road vehicles – Heavy commercial vehicles and buses – Lateral transient response test methods*. ISO 2011.

[16] NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION. *Federal Motor Vehicle Safety Standards No. 136; Electronic Stability Control Systems On Heavy Vehicles*. U.S. Department of Transportation, Washington D.C. 2012.

[17] INTERNATIONAL ORGANIZATION for STANDARDIZATION. *ISO/TR 8725 Road vehicles – Transient open-loop response test method with one period sinusoidal input*. ISO 1988, p. 4.

[18] INTERNATIONAL ORGANIZATION for STANDARDIZATION. *ISO 3888-2:2011 Passenger cars – Test track for a severe lane-change manoeuvre – Part 2: Obstacle avoidance*. ISO 2011, p. 1-5.

[19] NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION. *Docket No. NHTSA-2001- 9663: New Car Assessment Program; Rollover Resistance*. U.S. Department of Transportation, Washington D.C. 2001, p. 12-13.

[20] NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION. *DOT HS 811 289*. U.S. Department of Transportation, Washington D.C. 2010.

Bibliografia complementària

Normativa de projectes de fi de carrera. Barcelona: ETSEIB. 2003

CARDONA, S., JORDI, L. *Magnituds i unitats*. Barcelona: ETSEIB. 2003.

LIESA, F. *Vehicles I*. Barcelona: ETSEIB - Serveis Gràfics Copisteria Imatge, S.L. 2010.

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. CÀTEDRA APPLUS EN SEGURETAT DE L'AUTOMÒBIL. *Seguretat activa i passiva de l'automòbil*. Barcelona: ETSEIB - Serveis Gràfics Copisteria Imatge, S.L. 2011.